

Zur Frage der Elektrostimulation der Harnblase

von

Georg Arbter

aus Gleiwitz/Oberschlesien

1969

~~1970~~ № 15



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Chirurgische Universitätsklinik Erlangen

Direktor: Prof. Dr. G. Hegemann

Urologische Abteilung

Vorstand: Prof. Dr. A. Sigel

Zur Frage der Elektrostimulation der Harnblase

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Friedrich-Alexander-Universität

zu

Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von

Georg Arbter

Gleiwitz/Oberschlesien

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Professor Dr. H. Valentin

Referent: Professor Dr. A. Sigel

Tag der mündlichen Prüfung: 2. Oktober 1969

Inhaltsverzeichnis:

A. Einleitung

B. Formen und Ursachen der Blasenlähmung

C. Konventionelle Methoden der Therapie der gestörten Blasenfunktion

D. Neue Wege zur Therapie der funktionellen Blasenstörungen

I) Elektrisch hervorgerufene Erschlaffung der Muskeln des Harnausflußtraktes

II) Erhöhung des intravesicalen Druckes durch Erregung des M. detrusor vesicae

III) 1. Pharmakologische Stimulation mit Parasympathikomimetica

2. Elektrostimulation der autonomen Ganglien

3. Elektrostimulation der Harnblasenmuskulatur

4. Elektrostimulation der motorischen Fasern der Nn. pelvici

5. Elektrostimulation der sensiblen Fasern der Nn. pelvici

III) Bisherige Ergebnisse der "direkten" Elektrostimulation der Harnblasenmuskulatur

1. Die optimalen Reizparameter

2. Einflüsse auf die Reizparameter

3. Histologische Untersuchungen der Elektrodenimplantationsstelle

4. Reizerfolg

5. Nebenwirkungen

E. Eigene experimentelle Untersuchungen

I) Methodik

II) Ergebnisse

III) Diskussion

F. Zusammenfassung

Zur Frage der Elektrostimulation der Harnblase

A. Einleitung

Die Behandlung "neurogener" Blasenentleerungsstörungen, d.h. der motorischen und sensiblen Blasenlähmung ist immer noch unbefriedigend. Angeregt durch die erfolgreiche Entwicklung von "Herzschrittmachern" lag es nahe, dasselbe Prinzip in die Behandlung der sog. Lähmungsblase einzuführen. Die anatomisch und funktionell sehr unterschiedlichen Organsysteme ermöglichen jedoch nicht die direkte Anwendung von Herzschrittmachern bei der Behandlung von gelähmten Harnblasen. Erst künftige umfangreiche Untersuchungen müssen die Frage klären, welche physikalischen Eigenschaften Blasenstimulatoren besitzen müssen, welches physiologische Verhalten die Harnblase und ihre Umgebung dabei zeigt und in wieweit eine langdauernde Elektrostimulation der Harnblase erfolgreich ist.

Die vorliegende Arbeit gibt zunächst einen Überblick über die bisherigen Untersuchungsergebnisse. Im experimentellen Teil werden eigene Untersuchungen durchgeführt und ihre Ergebnisse diskutiert.

B. Formen und Ursachen der Blasenlähmung

Eine Blasenlähmung kann entweder auf muskulärer oder nervaler Grundlage beruhen. Die Blasenstimulation bei muskulärer Dekompensation verspricht keinen Erfolg. Die Störung der nervalen Blasenversorgung (sog. neurogene Blase), egal welcher Ursache, ist das Indikationsgebiet für eine elektrische Blasenstimulation. Bei Störung der motorischen Blasenversorgung kann man analog

der Lähmungsformen anderer Organe eine schlaffe und eine spastische Lähmung unterscheiden. Die Hauptursache für eine neurogene Blase ist der spinale Schock und die Querschnittslähmung. Eine sensible Blasenervenstörung kommt isoliert selten vor (vgl. Tab. I).

C. Konventionelle Methoden zur Therapie der gestörten Blasenfunktion.

Eine Entleerung der Harnblase kommt zustande, wenn der intra-vesicale Druck den Widerstand des Harnausflußtraktes überwindet.

Es gibt also grundsätzlich 2 Angriffspunkte um eine Überlaufblase zur Entleerung zu bringen:

I) Herabsetzung des Widerstandes im Harnausflußbereich

II) Erhöhung des intravesicalen Drucks

Die konventionelle spezielle Therapie der Überlaufblase greift -abgesehen von manueller Kompression der Harnblase (Credé) und Anwendung der Bauchpresse⁵⁷- nur am Harnausflußtrakt an. Die Vielzahl der Methoden zeigt schon an, daß keine Methode ganz befriedigend ist:

1. Katheterisieren^{40,41}: mögliche Komplikationen :
 Urethritis⁴⁸, Cystitis, Pyelonephritis;
 Epididymitis^{42,48,57}, Orchitis⁵⁷;
 benigne Pseudopapillomatose⁴²,
 penoscrotale Divertikel und
 Fisteln^{42,48,57}.
2. Transurethrale Resektion des Blasenhalsses
3. Suprapubische Cystostomie^{41,48}

Tab. I: Formen und Ursachen der Blasenlähmung

1) myogen	muskuläre Dekompensation	z.B. sekundär nach längerer Überdehnung ⁵⁹
2) motorisch	a) schlaffe Lähmung das periphere Neuron ist verletzt (= autonome Blase, Blase vom peripheren Typ, Infranclearblase, LMNB = Lower motor neuron bladder;⁵⁷ denervierte Blase⁵⁸) b) spastische Lähmung das zentrale Neuron ist verletzt (= automatische Blase, Blase vom zentralen Typ, Supranuclearblase, UMNB = Upper motor neuron bladder;⁵⁷ reflektorische neurogene Blase⁵⁸)	z.B. bei Poliomyelitis ⁵⁹
3) sensibel	afferente Nervenfasern sind verletzt (Harndrang u. Schmerz fehlen)	z.B. bei Tabes dorsalis ^{44,59} ; diabetischer Neuropathie ⁵⁹ ;
Motorische und sensible Blasenlähmung kommen häufig kombiniert vor (= neurogene Blase) ^{68,59}		z.B. bei: angeborener Mißbildung, vaskulären Erkrankungen, Tumor, Trauma (Querschnittslähmung); funikulärer Spinalerkrankung

4. Perineale Urethrostomie⁴¹
5. Durchtrennung des Sphincter externus³⁷
6. Y-V Plastik⁵⁶
7. Harnumleitung (z.B. Bricker-Blase)⁴¹
8. Pudendale Neurektomie^{7,9,14,21,25}
9. Prostataktomie

Bei 1,3 und 4 besteht erhöhte Infektionsgefahr, bei 2, 5 und 8 kann bei Erhöhung des intraabdominalen Drucks (Husten, Pressen u.s.w.) eine Inkontinenz auftreten.

D. Neue Wege zur Therapie der funktionellen Blasenstörungen

I: Elektrisch hervorgerufene Erschlaffung der Muskeln des Harnausflußtraktes:

Der Nachteil der konventionellen Methoden zur Senkung des urethralen Widerstandes liegt u.a. darin, daß dieser Widerstand bleibend erniedrigt wird. Um eine Inkontinenz zu vermeiden, wäre es wünschenswert, daß dieser Widerstand nur während der Miktion gesenkt werden kann.

Stewart⁶³ beobachtete an einer Katzenblase in situ, daß sie temporär ermüdet wird, wenn 'heftige Reize rasch wiederholt werden'. Die Ursache dieser Ermüdung kann man bei folgenden Faktoren suchen: Bei einer mangelnden Ernährung, einer Ermüdung der zuführenden Nerven oder einer Ermüdung des Muskels selbst. Die Ernährung war bei diesem Versuch gesichert. Es ist bekannt, daß die Ermüdung der Muskulatur in situ vorwiegend eine Ermüdung der motorischen Nerven ist³⁷. Andererseits wurde von Merton⁵⁵ nachgewiesen, "daß bei elektrischer Reizung ermüdeter menschlicher Muskeln trotz unveränderter Aktionspotentiale

eine Zuckung des Muskels praktisch nicht mehr nachweisbar ist³⁷". Daraus folgt, daß eine Ermüdung durch elektrische Reizung auch bei denervierten Muskeln möglich ist.

Die ersten gezielten Untersuchungen zur Ermüdung der Muskulatur des Harnausflußtraktes wurden 1966 von Hald et al.^{19,21} (an Hunden und Affen) beschrieben. Über Versuche von Alexander (am Menschen) wird 1967 berichtet⁶⁹. Hald et al. benützten 8 V, 1 msec, 120 Hz¹⁹ bzw. 4-6 V, 0,6-1 msec, 150-400 Hz in 10-sec-Perioden²¹ zwei Minuten lang vor der Blasenentleerung. Alexander benützte Rechteckimpulse von 1-10 V, 2 msec, 20 Hz bei intermittierender Anwendung; kontinuierliche Anwendung erhöhte durch Kontraktion der Muskeln dagegen die Kontinenz.

Vor routinemäßiger langzeitiger therapeutischer Anwendung solcher Ströme auf die glatte Muskulatur des Harnausflußtraktes beim Menschen sollten jedoch noch Langzeitversuche bei Tieren abgewartet werden, da z.B. die Kontraktion dieser Muskulatur vor ihrer Ermüdung ein Reiz zur Hypertrophie sein kann. Nach einer vorübergehenden Senkung des urethralen Widerstandes während der Miktion kann dieser möglicherweise durch eine solche Muskelhypertrophie um so größer und therapieresistenter werden.

II: Erhöhung des intravesicalen Drucks durch Erregung des

M. detrusor:

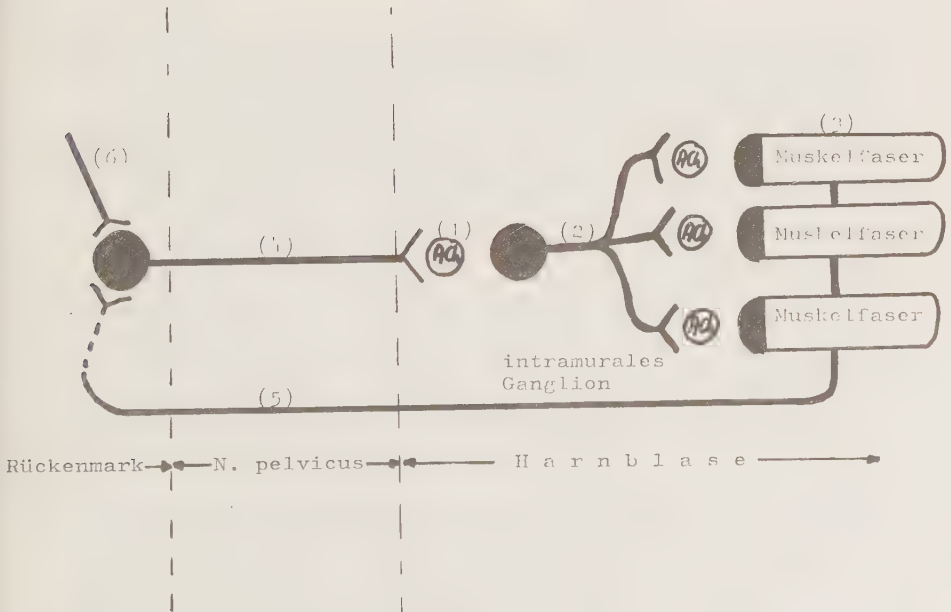
Zur physiologischen Erregung des M. detrusor kommt es über folgende Stufen (Abb. 1):

Auf Grund überschwelliger Aktivität in den sensiblen Blasen-
nerven (5) bzw. willkürlicher Beeinflussung der Miktion über

corticospinale Bahnen (6) kommt es im Rückenmark zur Erregung der parasympathischen Nn. pelvici (4). Acetylcholin⁴⁷ (1) dient als Überträgerstoff an der Synapse N. pelvici - intramurales Ganglion. Die erregten intramuralen Ganglien (2) leiten über Neuriten die Erregung an die Muskelfasern der Blasenwand (3) weiter.⁴⁵ Überträgerstoff ist wiederum Acetylcholin³⁹ (1).

Eine vom Rückenmark isolierte Blase kann auf Füllung mit erhöhter Muskelaktivität reagieren, jedoch ist diese Aktivität zu gering, um eine Harnentleerung in Gang zu bringen.⁵⁷

Abb. 1) Schema: Stufen der physiologischen Erregung des M. detrusor



1. Pharmakologische Stimulation mit Parasympathicomimetica:

Der M. detrusor ist ein glatter Muskel, der motorisch vorwiegend parasympathisch innerviert wird. Man kann ihn daher mit cholinergischen Medikamenten zur Kontraktion bringen⁵².

Bisher sind im Rahmen anderer Blasenuntersuchungen pharmakologische Stimulationen der Harnblase unternommen worden (z.B. mit Acetylcholin³⁹, Carbachol^{11,36}, Carbamylcholin³⁹, Mecholoyl⁶⁶, Neostigmin^{7,52} und Betanechol^{15,36,52,62}).

Es wurden auch Pharmaka als allgemeine unterstützende Therapie der Lähmungsblase versucht^{59,61}. Aber eine Allgmeintherapie mit Cholinergica bringt nicht nur die Harnblase zur Kontraktion, sondern sie beeinflusst auch andere Organe in unerwünschter Weise.

2. Elektrostimulation der autonomen Ganglien:

Da die autonomen Ganglien selbständige N^urone darstellen, sterben sie nicht ab, wenn die Rückenmarksnerven degenerieren. Versucht man daher die Muskulatur einer neurogenen Blase elektrisch zu reizen, so wird man wegen der langen Chronaxie des glatten Musculus detrusor (ca. 60 msec^{11,20}) und der kürzeren Chronaxie der Ganglien und ihrer Nervenfasern (Die Chronaxie der motorischen Nerven ist i.a. kürzer als die der von ihnen versorgten Muskelfasern) zuerst die nervalen Elemente reizen^{11,10,20,39}; diese übertragen die Erregung auf die Muskelfasern bevor die Muskulatur künstlich direkt erregt wird. So kann man erklären, daß die Autoren, welche angeben "direkt" den M. detrusor gereizt zu haben, diesen mit Strömen reizen konnten, deren Einzelimpulsdauer zwischen

1 - 5 msec lag.

So führten Carpenter et al.³⁹ bei Untersuchungen über die "Beziehung von Acetylcholinfreisetzung zu den Antworten von Rattenblasen" u.a. folgende Versuche durch:

- 1 Sie reizten normale Rattenblasen elektrisch mit 100 V, 1 msec, 15 Hz; 30 sec lang alle 3 Min. Die Blasen kontrahierten sich optimal.
- 2 4 - 8 Tage nach Entfernung der postganglionären Nervenfasern kontrahierten sich die Blasen bei elektrischer Reizung mit denselben Reizparametern kaum oder nicht.
- 3 Reizung derselben Blasen (wie 2) mit Acetylcholin ergab prompte Antwort als Beweis, daß die Blasen noch kontraktionsfähig waren.

3. Elektrostimulation der Harnblasenmuskulatur:

Eine elektrische Stimulation des Blasenmuskels selbst ist bei erhaltenen intramuralen Ganglien nicht sinnvoll, ja gar nicht möglich. Die glatte Muskulatur wird schon vor Ablauf ihrer langen Chronaxie-Zeit von den Nerven erregt.

Bei defekten Ganglien ist eine direkte elektrische Muskelreizung wegen der langdauernden erforderlichen Reizimpulse problematisch: Durch die lang anhaltende Gleichspannung können elektrolytische Veränderungen mit Narbenbildung und folgender Isolation der Elektroden entstehen.

4. Elektrostimulation der motorischen Fasern der Nn. pelvici:

Voraussetzung für Langzeitreizung der motorischen Blasenerven ist, daß das ganze motorische Neuron intakt ist. Die peripheren Stümpfe von durchtrennten Nerven kann man zwar

für kurze Zeit durch elektrische Stimulation zur Erregung bringen; jedoch fallen sie infolge der fehlenden Ernährung von ihren Nervenzellen her der WALLER'schen Degeneration anheim. Bei Straubitz et al.³⁴ waren durchtrennte Nn. pelvici nach 7 Tagen meistens nicht mehr erregbar.

Die experimentelle Reizung von Blasenerven diente anfangs nur zur Klärung der Innervationsverhältnisse der Blase^{vgl. 43, 38}. Die durch den Zweiten Weltkrieg bedingte starke Zunahme blasengelähmter Menschen hat wohl den Anstoß dazu gegeben, zu versuchen, die Blasenerven zu therapeutischen Zwecken zu reizen.

Erste Versuche wurden von Dees³⁰ im Jahre 1940/41 unternommen, jedoch erst 1965 veröffentlicht. Er versuchte, die parasymphathischen Nerven, welche vor dem Rectum verlaufen, transrectal elektrisch zu reizen. (Die reizende Elektrode befand sich also im Rectum). Katzenversuche ergaben bei guter Kontraktion der Blase erhebliche Schmerzen und Kontraktion der Hinterläufe; infolge Kontraktion des Urethrsphinkters war der Harnausfluß nur gering; außerdem traten bei wirksamen elektrischen Strömen Verbrennungen der Rectalwand auf. Versuche an paraplegischen Menschen waren ebenfalls unbefriedigend.

Später wurden systematische Untersuchungen von Burgehele et al. 1958³¹ und 1959³², Habib 1963³³, Graber und Rutishauser 1965¹⁴, Straubitz et al. 1966³⁴ und Hald et al. 1966³⁵ unternommen:

Die Parameter der elektrischen Ströme zur therapeutischen Reizung der Blasenerven wurden besonders sorgfältig und zuerst von Burgehele et al.³¹ untersucht und berichtet.

Von späteren Autoren werden diese Ergebnisse im wesentlichen

bestätigt (siehe Tab. II). Als Kriterium für den Erfolg der Reizung diente allen Autoren der intravesicale Druck und einigen zusätzlich der Residualurin.

Unilaterale Elektrodenanordnung konnten den intravesicalen Druck (auch bei intaktem Rückenmark) nur gering anheben (auf 10 - 25 cm H₂O^{31,33}), jedoch konnte keine Miktion ausgelöst werden^{31,33,35}. Die kontralaterale Seite der Blase wurde dabei passiv gedehnt^{31,33}.

Bilaterale Reizung ergab praktisch ohne Latenzzeit sofortigen Druckanstieg¹⁴. Aus den graphischen Druckaufzeichnungen von Burghelle et al.^{31,32} ist eine geringe Latenzzeit von ca. 1/4 sec nach Beginn der Reizung zu erkennen. Nach Absetzen des Reizes fällt der Druck rasch ab^{14,31,32,34}; bei Habib³³ jedoch langsamer als bei normaler Miktion.

Die Abhängigkeit des Reizerfolges vom intravesicalen Volumen wird später erörtert werden.

Nebenwirkungen bei Kurzzeitversuchen:

Keiner der Autoren beschreibt vesicoureteralen Reflux.

Bei Reizung der vorderen Sacralwurzeln³⁵ trat Mitinnervation anderer Organe mit folgenden Symptomen auf: Harnretention, Überlaufinkontinenz, faecale Inkontinenz und sekundäre Wundinfektion.

Bei Reizung der Nn. pelvici kam es durch Stromausbreitung auf benachbarte Strukturen zu folgenden Symptomen:

1. Schmerz (bei normalen Spannungen von 2 - 3 V), wenn die Nn. hypogastrici nicht durchtrennt waren³⁴.
2. Beinkontraktionen (bei erhöhten Spannungen über 3 V)³⁴.
3. Defäkation²¹

Andere Autoren beobachteten allerdings diese Nebenwirkungen nicht.

4. Alle Autoren -außer Straubitz et al.³⁴, welche routinemäßig die urethralen Äste der Nn. pelvici durchtrennten- berichten über gleichzeitige Kontraktion der Muskulatur des Blasenausganges und den dadurch erhöhten Widerstand: Burghelle et al.³² stellten 10 - 30 sec nach Reizbeginn eine Erhöhung des urethralen Widerstandes fest, welche durch direkte Reizung der Nn. hypogastrici erhöht wurde und nach Injektion von Sympatholytica verschwand. Durchtrennung der Nn. hypogastrici proximal des Beckenplexus senkte den Widerstand nicht.

Anhand des Verlaufs der Muskelfasern im Bereich des sympathisch innervierten Trigonums und Blasenhalses zeigte Tanagho⁶⁵, daß Kontraktion dieser Fasern bei ruhender Blase den Blasen- hals verengt, ihn dagegen bei sich kontrahierender Blase erweitert. Die Beobachtungen von Burghelle et al.³² widersprechen dieser Erklärung, da Verengerung des Blasenhalses durch sympathische Reizung auch bei sich kontrahierender Blase stattfand. (Beide Untersuchungen wurden am Menschen durchgeführt). Daß während Stimulation eine Kontraktion im proximalen Teil der Urethra stattfand, wird auch von Hald et al.³⁵ (Untersuchungen an Hunden) durch Berechnung des "vesicourethralen Gradienten" festgestellt.

Bei Graber und Rutishauser¹⁴, welche teils die Nerven, teils den Muskel reizten, ergab Resektion der Nn. hypogastrici (ortho-sympathisch) keinen Erfolg, während zusätzliche Resektion der Nn. pudendi (somatisch) den urethralen Widerstand während elektrischer Reizung nicht so hoch ansteigen ließ. Zusätzliche Pelvicusresektion (para-sympathisch) bewirkte,

daß der Widerstand während elektrischer Stimulation nicht mehr anstieg, sondern konstant mit einem Druck von 50 mm Hg überwunden werden konnte. Die entscheidende Senkung des Ausflußwiderstande wurde durch die Ausschaltung der Nn. pelvici bewirkt.

Hald et al.³⁵ konnten den urethralen Widerstand ebenfalls durch pudendale Neurektomie oder Nervenblockade oder auch durch Resektion der urethralen Nervenzweige des N. pelvicus senken. Außerdem wird eine direkte Erregung der Muskulatur des Blasenausganges während elektrischer Blasenstimulation erörtert.

Zusammenfassung: Für die Erhöhung des Blasenausgangswiderstandes während elektrischer Reizung der Blasenerven werden verantwortlich gemacht: Direkte Stromausbreitung, Erregung der Nn. hypogastrici, der Nn. pudendi und der Nn. pelvici. Der entscheidende Anteil dürfte auf der Miterregung der in den Nn. pelvici verlaufenden Fasern zur Urethra beruhen^{14,34,35}. Der Einfluß dieser verschiedenen Nerven auf den Widerstand des Harnausflußtraktes bedarf noch einer entgültigen Klärung.

Langzeitversuche:

Graber und Rutishauser¹⁴ berichten nur über Kurzzeitversuche.

Während Burghelle et al.³¹ die Harnblase von Hunden bis zu 7 Monaten und Habib³³ bis zu 1 Jahr reizen konnten (beide machen keine Angaben über den Verlauf), gelang es Hald et al.³⁵ und Straubitz et al.³⁴ -mit Ausnahme einer Hündin, welche 450 Tage überlebte- nicht länger als 1 - 2 (9) Wochen, die Blase mit Erfolg zu reizen. Als Gründe werden angegeben:

Hald et al.³⁵ : Veränderung der Nerven (Diese Veränderungen waren bei Kontrolltieren, welche Elektroden implantiert hatten ohne daß diese stimuliert wurden, geringer)

-7 von 10 Hunde-

Elektrodenbruch

-1 Hund-

Pneumonie

-2 Hunde-

Straubitz et al.³⁴ : durchtrennte Nerven konnten maximal 7 Tage gereizt werden.

bei intakten Nerven (10 Hunde):

Decubitus (4 weibl.)

Cystitis (1 männl., 1 weibl.)

Elektrodenbruch (1 m., 1 w.)

Elektrodeninfektion (1 männl.)

Bei der einzigen länger überlebenden Hündin (450 Tage) nahm der Blasendruck bei Reizung mit immer den gleichen Reizparametern im Laufe der Zeit zu.

5. Elektrostimulation der sensiblen Fasern der Nn. pelvici:

Die Reizung der sensiblen Blasenerven ist technisch nur gemeinsam mit Stimulation der motorischen Nervenfasern möglich. Es ist zu erwarten, daß bei intakten sensorischen Nerven wegen Erregung des Miktionszentrums die Gesamtreizungsdauer verkürzt wird und der Miktionsablauf physiologischer verläuft.

III: Bisherige Ergebnisse der "direkten" Elektrostimulation der Blasenmuskulatur:

Mit Ausnahme von Katona⁵¹ operierten alle Autoren die Elektroden in oder auf die Blasenmuskulatur. Katona⁵¹ beschrieb eine Methode zur Diagnostik und Therapie der gelähmten Harnblase: Er stimulierte den M. detrusor mit einer durch die Urethra eingeführten differentiellen gegen eine an der Körperoberfläche liegende indifferenten Elektrode.

Zwar hat diese Methode alle Nachteile des Blasenkatheterismus; jedoch ist mit ihr eine Harnblasenstimulation im Sinne eines Blasenstrainings möglich - analog der elektrischen Stimulation von atrophischen Skelettmuskeln. Sie wäre demnach indiziert bei Harnblasenlähmungen, bei welchen z.B. wegen spinalen Schocks oder aus anderen Gründen eine Operation zur Implantation von Elektroden in den Detrusor oder an seine Nerven kontraindiziert ist. Da bei diesen Gelähmten ohnehin katheterisiert werden muß, bringt eine zusätzliche elektrische Blasenstimulation keine weitere Gefährdung des Patienten durch Infektion (vgl. S. 4f). Jedoch könnte eine Atrophie der Blasenmuskulatur und ein vesicoureteraler Reflux verhindert werden. Ob bei einer zentralen Blasenlähmung die Bildung einer Reflexblase durch systematische Blasenstimulation beschleunigt wird, müßte noch untersucht werden.

1. Die optimalen Reizparameter:

In Kurzzeitversuchen wurden folgende Parameter bestimmt (vgl. hierzu Tabelle III):

- a) Elektrodenanordnung: An Material wurde verwendet: Platin, rostfreier Stahl oder Kupferdraht.

Bei Kurzzeitversuchen wurde keine Abhängigkeit der Blasen-

antwort vom Elektrodenmaterial festgestellt¹¹. Bei Langzeitversuchen wurden die Elektroden stark mechanisch (Elektroden sind gebrochen) und elektrisch (Elektrolyse) beansprucht; für Langzeitversuche wurde daher Platin vorgezogen.

Folgende Formen und Lokalisationen der Elektroden wurden bevorzugt verwendet: Platten auf den Muskel

Drähte in den Muskel

Die optimale Elektrodenzahl schwankt zwischen zwei und sechs Elektroden.

Eine geeignete Lokalisation der Elektroden ist wichtig, um einerseits eine Ausbreitung der elektrischen Erregung über den ganzen Detrusor zu erhalten, andererseits um eine Stimulation benachbarter Strukturen zu vermeiden. Gezielte Untersuchungen hinsichtlich der Ausbreitung der Erregung im Detrusor von Scott et al.¹⁵ ergaben, daß es für Hunde eine "Triggerzone" an der Eintrittsstelle der Nerven in die Blase gibt; auch bei den anderen Autoren stand die Elektrodenanordnung an der Hundeblase irgendwie in Beziehung zur Eintrittsstelle der Blasenerven, wenn der ganze Detrusor zur Kontraktion gebracht werden konnte. Beim Menschen konnte keine "Triggerzone" gefunden werden. Bei der Stimulation benachbarter Strukturen hat die Reizung der Harnröhrenmuskulatur besondere Bedeutung. Potempa²⁶ konnte durch Messung isoelektrischer Linien in der Umgebung der Elektroden zeigen, daß mit dem Fortschreiten der Miktion die Elektroden immer näher an den Blasen Hals gelangen und somit die elektrische Spannung am Blasen Hals zunimmt, der Blasen Hals sich also zunehmend kontrahiert. Diese Feststellung erklärt die von mehreren

Autoren gemachte Beobachtung eines abrupten Abbruches der elektrisch induzierten Miktion.

b) Reizstromform: In der Regel wurden Sinus- oder Rechteckimpulse verwendet, was wohl durch die vorhandenen technischen Möglichkeiten bedingt ist. Während Boyce et al.¹⁰ keinen signifikanten Unterschied zwischen Sinus- und Rechteckimpulsen fanden, berichtet Graber et al.¹⁴, daß Sinusspikes bessere Druckantwort als Rechteckspikes gaben und außerdem Sinusspikes geringere elektrolytische Veränderungen machten. Boyce¹⁰ und Hald¹³ fanden bei Anwendung von Wogen stärkere Detrusorantwort als bei Sinus- oder Rechteckströmen gleicher Spitzenspannung. Wegen der geringeren elektrolytischen Veränderungen^{4,6,14,28} wurden im allgemeinen biphasische Impulse vorgezogen. Die meisten Untersucher verwendeten Rechteckimpulse.

c) Spannung und Intensität: Vorbemerkung: Die von den Autoren angegebenen Werte stellen Durchschnittswerte dar. Die Spannung und die Intensität sind unter anderem abhängig von der Elektrodenanordnung. Die angewandte Spannung liegt im Bereich von 1,5 - 60 V; die Stromstärke zwischen 10 - 100 mA.

Da die elektrische Qualität, welche eine Erregung an einer konduktilen Membran auslöst, die 'Stromdichteänderung pro Zeiteinheit' ist -wobei jedoch noch die Nutzzeit zu berücksichtigen ist-⁴⁶, sind die Angaben von Intensität (=Stromstärke) und noch mehr der Spannung (=Stromstärke mal elektrischer Widerstand) mehr technischer als physiologischer Natur. Die Angabe von Intensität kann man bei bekannter

Elektrodenfläche und bekannter Reizstromform in 'Stromdichte-
änderung pro Zeit' umrechnen. Ist die Spannung angegeben,
so ist zur Umrechnung noch zusätzlich der elektrische Wider-
stand zwischen den Elektroden erforderlich. Man kann daher
die Angaben von Spannung und Intensität nur unter erheblichen
Vorbehalten miteinander vergleichen.

d) Dauer des Einzelimpulses: Sie liegt bei 0,5 - 5 msec.

Längere Impulsdauer gab nach Rokujo²⁴ stärkere Wirkung. Hald et al.^{2,3} stimulierten auch
mit Impulsen von 100 msec Dauer: möglicherweise wurden mit
diesen Impulsen nicht nur die intramuralen Ganglien sondern
auch der glatte Muskel direkt stimuliert.

e) Frequenz: 10 - 15 - 30 - 60 Hz

f) Gesamtreizungsdauer: bei intakten Nerven 1.- 10 sec;

bei denervierter Blase (10 sec -) 3 Min.

Eine Erklärung dieser zeitlichen Unterschiede wird unten im
Abschnitt "Reizerfolg" gegeben.

Graber²⁵ berichtete, daß ein Harnfluß erst nach Beendigung
des Reizes zustande kam, daß also die Förderleistung der
Blasenkontraktion um so größer war, je kürzere Zeit der
Reiz verabreicht wurde.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die optimalen
elektrischen Reizparameter zur "direkten" Muskelreizung mit
denen zur Reizung der Nn. pelvici annähernd übereinstimmen,
ausgenommen die höhere Spannung bzw. Intensität für die
Muskelreizung.

2. Einflüsse auf die Reizparameter bzw. die Blasenantwort:

- a) Einfluß des neurologischen Zustandes: Bradley et al.⁶ und Jonge et al.¹⁶ stellten keinen Unterschied der Reizbarkeit vor und nach Rückenmarksdurchtrennung fest. Dagegen beobachteten Hald et al.³, daß der intravesicale Druck bei den Cauda-Katzen höher stieg als bei den Katzen mit zentraler Blasenlähmung. Wenn jedoch Blasenentleerung zustande kam, so war sie bei Katzen mit zentraler Lähmung besser als bei den Cauda-Katzen.
- Stenberg et al.²⁹ beobachteten, daß bei einem Patienten mit zentraler Blasenlähmung die spontane Detrusoraktivität durch elektrische Stimulation unterdrückt wurde.
- b) Einfluß des Zeitintervalles nach Rückenmarksdurchtrennung: Je größer der Zeitabstand nach Rückenmarksdurchtrennung bis zum Beginn der elektrischen Stimulation war, um so höhere Spannung war notwendig⁷. Wurde jedoch von Anfang an gereizt, so stieg mit der Zeit bei den selben elektrischen Parametern die Blasenantwort^{14,17,29}.
- c) Einfluß des Geschlechtes: Nach Jonge et al.¹⁶ hat das Geschlecht keinen Einfluß. Nach Hald et al.² war der elektrisch induzierte Druck bei männlichen Katzen niedriger, bei weiblichen Katzen höher als der physiologische Miktionsdruck.
- d) Katheterbehandlung⁶ und Cystitis³ setzen die Erregbarkeit des Detrusor herab.
- e) Einfluß des intravesicalen Volumens: Hier widersprechen sich die Angaben:
- 1) Überdehnung der Blase steigert die Spannungsschwelle für die Entleerung: Bradley et al.⁴, Wischnewsky²².
- Die Blase läßt sich bei geringerem Volumen leichter

stimulieren: Graber et al.¹⁴

2) Die Blase läßt sich bei geringerem Volumen ^wschwerer stimulieren als bei größerem: Alexander et al.¹¹; Bradley et al.⁵, Graber²⁵

f) Einfluß der Häufigkeit der Reizung: Ermüdung: Fünfzig¹² oder weit mehr⁷ Reizungen der Blase innerhalb von zwei Stunden zeigten, daß die Blase auf jeden Reiz reagieren kann.

3. Histologische Untersuchungen der Elektrodenimplantationsstelle:

Histologische Untersuchungen nach längeren Reizperioden gaben keine bedeutenden Veränderungen: Minimale Vernarbung um die Elektrode^{4,6,10,13,16}. Nach fünfzigmaliger Reizung innerhalb zweier Stunden wurden mikroskopisch keine Gewebsveränderungen festgestellt¹².

4. Reizerfolg:

Die Harnblase kontrahiert sich praktisch sofort nach Reizbeginn^{10,11,14} (Kantrowitz⁷: nach 1/2 - 1 sec); und zwar kontrahiert sie sich bei elektrisch induzierter Miktion gleichzeitig³ im Gegensatz zu physiologischer Miktion, bei welcher Ingersoll^{Zit. nach 3} eine peristaltische Welle beobachtete. In 3 - 5 sec⁷ bzw. 4 - 8 sec¹⁶ wird das Druckmaximum in der Blase erreicht. Die Entleerung beginnt also 4 - 5 sec¹ nach Reizung.

Entsprechend der Druckänderung in der Blase unterscheidet Kantrowitz⁷ drei Kontraktionstypen:

a) Steiler Druckanstieg mit Maximum nach 3 - 5 sec; Druckabfall nach Reizende.

b) Steiler Druckanstieg; Druck bleibt 5 - 20 sec nach
Reizende hoch.

c) Später und niedriger Druckanstieg; nach Reizende starke
Druckerhöhung für einige sec (zweigipflige Kurve).

Die Ursache dieser Kontraktionstypen ist noch nicht völlig
geklärt. Auch andere Autoren^{1,12,16,20,27} erwähnen, daß der
intravesicale Druck nach Beendigung des Reizstromes erhöht
bleibt, die Detrusorkontraktion also fort dauert. Bei allen
diesen Untersuchungen -ausgenommen zwei Menschen mit zentraler
Blasenlähmung- war der M. detrusor normal innerviert. Die
Nn. pelvici sind bei zentraler Blasenlähmung intakt. Jonge
et al.¹⁶ und Hald et al.²⁰ berichten, daß in tiefer Anästhesie
der intravesicale Druck nach Beendigung des Reizes nicht er-
höht blieb, während dies bei denselben Hunden in leichter
Anästhesie der Fall war. Aus diesen Fakten kann man schließen,
daß die Fortdauer der Detrusorkontraktion nach Beendigung des
künstlichen Reizes einen intakten Reflexbogen zum Rückenmark
zur Voraussetzung hat²⁰.

Der durch die elektrische Stimulation erreichte
Blasendruck besagt nichts über die Harnblasenentleerung, da
1. die Druckschwelle für die Miktionsauslösung inkonstant
ist: diese Druckschwelle kann mit stärkeren Reizströmen eben-
falls ansteigen¹⁴; und 2. gibt es keine enge Beziehung zwischen
Entleerungsdruck und prozentual entleertem Volumen.¹²

Der intravesicale Druck stellt bei den Versuchen zur Bestim-
mung der optimalen Reizparameter zwar ein brauchbares Maß
für die Detrusorkontraktion dar, jedoch gibt er keinen Hinweis
auf die Kontraktion der Muskulatur des Harnausflußtraktes

und damit auf die Erhöhung des urethralen Widerstandes (vgl. S. 3).

Die in der Tabelle III angegebenen maximalen intravesicalen Drucke haben daher nur Bedeutung in Hinsicht auf die Detrusor-
kontraktion, nicht jedoch auf die Wirksamkeit der elektrischen
Stimulation zur Harnentleerung. Da der Harnfluß außer vom
intravesicalen Druck auch vom intraurethralen Druck abhängt,
kann er einen Hinweis auf die Wirksamkeit der Stimulation zu
Harnentleerung geben.

5. Nebenwirkungen bei Kurzzeitversuchen:

Keiner der Autoren beschreibt vesicoureteralen Reflux.

Infolge Stromausbreitung auf benachbarte Strukturen kam es
während Stimulationen zu unerwünschten Nebenwirkungen;
Kantrowitz et al.⁹ hatten die Feldstärke der Stromausbreitung
in der Nähe der Blase auf ca. 1/6 der reizenden Elektroden
berechnet.

durch Reizung sensibler Nerven:

1) Schmerz im unteren Bauchraum:

Autor	Höhe der neurolog. Läsion:
Boyce ¹⁰	-nicht angegeben-
Bradley ⁶	Cauda
Jonge ¹⁶	Cauda, L 3-4

Keine Schmerzen bei:

Hald ²⁷	Th 8; Th 9, Th 12; L ?.
Stenberg ²⁹	C 6
Jonge ¹⁶	Th 8 - L 3

Der Schmerz aus dem Bereich der Blase wird durch ortho-
sympathische Fasern (N. hypogastricus) geleitet³⁴, welche

Rückenmarkssegmenten oberhalb des Miktionszentrums ($S_2 - S_4$) zugeordnet sind^{5,16,64}.

2) Prickelndes Gefühl am ganzen Körper: Bradley⁵ (1 von 7 Pat.)

3) Defäkationsdrang: Boyce¹⁰

durch Reizung motorischer Nerven oder der Muskeln:

1) Beinkontraktionen^{4,5,6,9,10,16,26}

Bei Bradley et al.⁴ und Potempa²⁶ waren diese Kontraktionen am Ende der Blasenkontraktion stärker, da die Elektroden tiefer im Becken lagen.

Keine Beinkontraktionen bei: Schoenberg¹; Alexander¹¹ (unter 8-10 Volt)

Alexander¹¹ berichtet, daß sich Beinkontraktionen durch geeignete Elektrodenlokalisation und Spannung vermeiden lassen.

2) Kontraktion der Rückenmuskulatur: Boyce¹⁰

3) Peniserektion: Boyce¹⁰; Hald²

keine Peniserektion bei: Hald²⁷

4) Kontraktion der Beckenbodenmuskulatur und des Sphinkter externus (quergestreifte Muskulatur):

Während die bisher erwähnten Nebenwirkungen keine unmittelbare Wirkung auf die Blasenentleerung hatten, stellt die Kontraktion der quergestreiften Muskulatur am Beckenboden ein für den Erfolg der Elektrostimulation entscheidendes Hindernis dar. Die Kontraktion dieser Muskulatur kann zwei Ursachen haben: 1) Spastizität bei zentraler Lähmung:

Boyce¹⁰; Hald²⁷, Susset²⁸

2) Direkte oder indirekte (über Nerven)

Stimulation durch Ausbreitung des künstlichen elektrischen Reizstromes: Boyce¹⁰;

Kantrowitz^{7,9}; Graber^{14,25}; Ellis¹³;

- vgl. auch S. 12 -

Alexander¹¹ berichtet, daß keine Kontraktion als Folge der Blasenstimulation aufgetreten sei, jedoch war der urethrale Widerstand erhöht.

Die Spastizität bei zentraler Lähmung läßt sich durch Umwandlung der zentralen Lähmung in eine periphere Lähmung oder durch pudendale Neurektomie beseitigen^{7,9,25}.

Die Vermeidung einer gleichzeitigen Erregungsausbreitung auf die Muskulatur, welche den urethralen Widerstand erhöht, ist noch nicht entgültig geklärt:

Zunächst muß festgestellt werden, daß der früher als "Sphincter internus" bezeichnete Blasen Hals keine Ringmuskulatur enthält. Seine Muskelfasern sind schlingenartige Ausläufer der Detrusormuskulatur. Der Blasen Hals öffnet sich infolge der besonderen Anordnung der Muskelfasern bei der Kontraktion des M. detrusor ohne einen nervalen Reflex, also auch bei denervierter Blase^{49,50,53,65,66}. Der erhöhte urethrale Widerstand kann also nur durch die quergestreifte Muskulatur des Beckenbodens und des Sphincter externus bedingt sein.

Durch verschiedene Methoden wurde festgestellt, daß der größte Widerstand in der Mittelurethra (Pars membranacea urethrae) liegt und durch Kontraktion der quergestreiften Muskulatur zustandekommt^{11,21,54,66}. Diese Muskulatur wird von somatischen Nerven innerviert.

Pudendale Neurektomie^{7,9,14,21,24,25} kann den urethralen

Widerstand senken; zusätzliche Pelvicus-Resektion bewirkt weitere Senkung dieses Widerstandes¹⁴. Nach völliger chronischer urethraler Denervierung konnten Hald et al.¹⁹ röntgenologisch keine Wirkung des Detrusorreizstromes auf den Durchmesser der Urethra feststellen, während vor Denervierung eine Verminderung dieses Durchmessers festgestellt wurde. Andererseits ergaben Messungen von Alexander¹¹ keinen erhöhten intraurethralen Druck während induzierter Miktion, obwohl der urethrale Widerstand erhöht war. Nach Potempa²⁶ verbessert Ventrofixation der Blase mit evtl. Durchschneidung der Ligg. retropubica die Abflußverhältnisse.

Nach diesen noch nicht entgültigen Ergebnissen scheint es, daß die Erregung jener quergestreiften Muskulatur durch Ausbreitung des elektrischen Reizstromes auf ihre Nerven zustandekommt. Welche Faktoren außerdem noch Bedeutung haben können ist noch nicht gesichert.

Versuche, eine Stromausbreitung durch niedrige elektrische Reizströme - bei gleichzeitiger Steigerung der Erregbarkeit des Detrusor durch Urecholin - zu verhindern, waren nicht erfolgreich⁶².

Im folgenden Anhang sind alle bisher bekannten Versuche über die Elektrostimulation der Blase tabellarisch zusammengefaßt.

A n h a n g 1

Zeichenerklärung zu den Tabellen:

m	=	männlich
w	=	weiblich
?	=	keine Angabe
Vr	=	Flüssigkeitsvolumen in der Blase (in ml)
Vd	=	Volumen der Blasenmuskulatur (in cm ³)
VR	=	Residualurin (in ml)
Vm	=	maximale Blasenkapazität (in ml)
Pi	=	intravesicaler Druck in cm H ₂ O = $\frac{p}{cm^2}$
Pi [✓]	=	intravesicaler Druck bei verschlossener Urethra (cm H ₂ O)
Entl.	=	Entleerung der Blase

weiterhin wurden folgende Abkürzungen verwendet:

T	=	Impulsdauer (in msec)
R	=	Pausendauer (in msec)
I	=	Stromstärke (in mA)

Tab. II: Optimale Parameter zur Reizung der Nn. pelvici

Autor: (Versuchs- objekt)	Elektroden:	Reizstrom- form:	Spannung:	Intensität:	Impuls- dauer:	Impuls- frequenz:	Gesamtrei- zungsdauer:	erreichte Drucke (in cm H ₂ O):
Burghelle ³¹ (Hunde, 10-25 kg)	bipolare Pla- tinelektroden an Nn. pelvici -untersucht am 10-100. Tag nach Elektroden- implantation-	rechteck	?	4-8 mA 	4-7 msec 	15 Hz 	40-60 sec	ca. 60
Burghelle ³² (Menschen)	von Burghelle ³¹ übernommen:			5-10 mA	7 msec	15 Hz	(2 Min)	ca. 60
Graber ¹⁴ (Hunde)	an Nn. pelvici (oder auch di- rekt im Muskel)	Sinus, Rechteck	2-4 V	?	?	(18-30 Hz)	?	ca. 136
Straubitz ³⁴ (Hunde, 7-14 kg)	V-förmige Pla- tinelektroden an Nn. pelvici vor Einmündung der Nn. hypo- gastrieci.	biphasisch, 2-3 V Rechteck (Schwelle 1,5 V)	?	?	3-4 msec	20-25 Hz	unter 10 sec	ca. 55-102

■ Über 15 Hz ruft auf die Dauer Ermüdung der Nerven-Muskel-Einheit hervor. Bei 50 V tritt sofort Übermüdung auf.

Autor: (Versuchs- objekt)	Elektroden:	Reizstrom- form:	Spannung:	Intensität	Impuls- dauer:	Impuls- frequenz:	Gesamtrei- zungsdauer:	erreichte Drucke (in cm H ₂ O):
Gul, S. (Hunde)	ober ober bi- polare Elektro- den an Nn. pel- vici oder an vorderen Sacral- wurzeln.	Rechteck	Rechteck (Schwelle 1,3 V)	?	1-4 msec	20 Hz	?	Sacralwurzeln: Mittel von 75 Nn. pelvici: Mittel: 101
Habib ³³ (Hunde: 47m+w)	durchbohrte Pla-Rechteck tinscheiben: an der Nerven ein- trittsstelle in den Muskel; im Abstand von 3-4 cm.	Rechteck	1-2 V	?	15 msec	20 Hz	30-40 sec	50-60
Rokujo ²⁴	(leichte Pento- thalnarkose) an verschiede- nen Punkten d. Blase	monopha- sisch Rechteck	unter 4 V					ca. 60



Tab. III: Optimale Reizparameter zur "direkten" Muskelreizung

(Es wird unterschieden zwischen Arbeiten, bei welchen diese Parameter gezielt untersucht wurden, und solchen, bei welchen die Parameter von früheren Untersuchungen übernommen wurden)

Autor: (Zahl der Tiere)	Höhe der neurolog. Störung:	Elektroden:	Reizstrom- form:	Spannung:	Intensität:	Impuls- dauer	Impuls- frequenz	Gesamt- reizungs- dauer:	Kriterien: (Drucke in cm H ₂ O)
K A N I N C H E N:									
Schoenberg, ¹ (10m)	intakt	rostfreie Stahlnadeln: eine an der Blasenspitze, andere 1 cm von li. Ureter- eintründung.	mono- phasisch: Rechteck	18-25 V	?	0,5-2,0 msec	25 Hz	8-10 sec	Pi (<40) Entl.
K A T Z E N									
Hald ² (3m, 2w) (7 Kontroll- tiere)	intakt	2-4 Platin- scheiben 3mm ø oder 2 rostfreie Stahldrähte	1) Rechteck ? 2) Wogen ?		15-25 mA	100 msec 3 msec	0,5 Hz 30 Hz 10 Wogen/Min	?	Pi (42-60) Cysto- metrie
Hald ³ (6m, 6w)	Wirbel- Th 10 (3m, 3w); Cauda (3m, 3w)	Platinscheiben 3 oder 7 mm ø auf d. Muskel; oder rostfreie Drähte in den Muskel.	1) Rechteck ? 2) Wogen ?		(10-) 20 mA	100 msec 3 msec	0,5-1 Hz 30-50 (120) Hz 10 Wogen/Min	?	Pi (30-75) Cysto- metrie
-14 Tg. nach Denervation-									

H U N D E:

Autor: (Zahl und Gewicht d. Tiere)	Höhe der neurolog. Störung	Elektroden:	Reizstrom- form:	Spannung:	Intensi- tät:	Impuls- dauer:	Impuls- frequenz:	Gesamt- reizungs- dauer: (Drucke in cm H ₂ O)	Kriterien:
Bradley ⁴ 10m, 10w; 10-12 kg) Bradley ⁶ (42m+w, ? kg)	intakt, darauf: C 8; auch: tiefe An- ästhesie, neuromuskuläre Blockade.	rostfreie Stahlscheiben 5-15 mm ø	biphasisch: Rechteck	5(10) - 15 V (40-100 Ohm)	1-5 msec	20-25 Hz	(1-3Min?)	Pi(68-81) Entl.	
Kantro- vitz ⁷ 8 18??; 3-18 kg)	1) intakt (14) 2) L 4-6 (9) -sofort nach Denervation-	2 rostfreie Stahldrähte (an vorderer und hinterer Blasenwand) in die Musku- latur.	biphasisch: Rechteck	(2,5) 3 - 5(10 V	4 msec	20 Hz	5(-10) sec	Pi(22-81) Harnfluß	
							5(-10) sec Reizung, 5(-10) sec Pause: bis 60sec	Pi(25-73; 180) Harnfluß	
Boyce ¹⁰ ???)	?	4-6 rostfreie Stahlelektro- den < 1,5 cm ø	bisphasisch: Sinus, Rechteck, Wogen	15 V	?	15-60 Hz	?	?	

Autor: Höhe der
(Zahl. und neurolog.
Gewicht d. Störung
Tiere

Elektroden:

Reizstrom-
form:

Span-
nung:

Intensität: Impuls-
dauer:

Gesamt-
reiz-
frequenz:
dauer:

Kriterien:
(Drucke in
 $\text{cm}^2 \text{H}_2\text{O}$)

Alexander
(33m+w;
? kg)

7 in Narkose-
verschieden-
artige (in der
Wirkung gleich)
längs der Ure-
teralminidungs-
stellen.

mono-
phasisch:
Rechteck

1,5-8 V
1-2 msec

20-25 Hz
>10 sec
Pi (30-40)
Entl.
VR

Ellis
(36m+w;
? kg)

intakt und
in Narkose
atraumatische
Schrittmacher-
drähte in die
Muskulatur

Rechteck

(5-) 6 V
(1-) 1,5
msec

20 Hz
10 sec
P* (50)
prozentual ent-
leertes Volumen
(bei 80% der
Tiere > 80%)

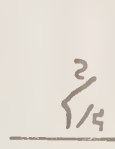
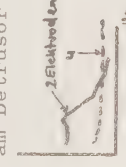
Graber¹⁴
(??; ?)

?
Drahtelektro-
den seitlich
am Detrusor

Sinusspikes
(Rechteck)

4 V
?

18-30 Hz
?



intakt und
in Narkose

2 Stahldrähte;
bzw. 5 Platin-
elektroden 8,5
mm lang
in die Muskula-
tur.

biphasisch
Rechteck

10-36 V
?

10 Hz
0,5 -
1 sec

intakt und
in Narkose
L 1-2 (7)
L 2-3 (1)
L 1-2 (1)

2 Stahldrähte;
bzw. 5 Platin-
elektroden 8,5
mm lang
in die Muskula-
tur.

biphasisch
Rechteck

20-100 mA
mittel 30mA
?

20 Hz
-60 sec
P* bei Vr=100
(61-156)

c. 20?
7-24 kg)-sofort nach
Denervation-

Cauda

mittel 90mA
?

20 Hz
?

Pi bei Vr=100
(62-158)
1
3
1

Autor: Höhe der (Zahl und neurolog. Gewicht d. Störung Tiere)	Elektroden:	Reizstrom- form:	Span- nung:	Intensität:	Impuls- dauer:	Impuls- frequenz:	Gesamt- reiz- dauer:	Kriterien: (Druck in cm H ₂ O)
Ellis ¹³ (8?;?)	in Narkose: 3 rostfreie intakt, dann Steldrathite in Th (führe der die Muskulatur 8. Rippe)	Rechteck	6 V	?	1,5 msec	30 Hz	10 sec	prozentual entleertes Volumen
Wisch- newsky ²³ (23?;?)	BWS oder LWS	Rechteck	5-10 V	?	1-5 msec	20 Hz	8-10 sec	?
Rukujo ²⁴ Teil von 50 ?; ? kg)	(leichte an Ureterein- mündungsstel- len	monophasisch Rechteck		?			?	p _i bei V _r =const (ca 40)
Magasi ²³ (?;?)	(in Narkose)	?	(6 V)	?	?	?	(3 sec)	p _i Messung in vivo und in vitro
Potempa ²⁶ ? (über 50 Hunde u. Katzen; ? kg)	4 Platinschei- ben an Blasen- seitenwänden und Hinter- wand	Sinus oder Rechteck	?	?	?	50 Hz	?	p _i (>136)

Hundeversuche ohne gezielte Parameteruntersuchung (Langzeitversuche):

Autor: (Zahl und Gewicht d. Hunde)	Neurolog. Befund	Stimulation	Häufig- keit d. Stimu- lation:	Längste Beobach- tungs- zeiten:	Kriterien, Besondere Untersuchungen:
Bradley ⁴ (31 ??; 10-12 kg) Bradley ^{5,6} (37m+w; 10-16 kg)	C-8 (24) Cauda (2) intakt (5) C-8 (16m, 16w) Cauda (2m, 4w) intakt (5)	Parameter wie Bradley ⁴⁺⁶ , später andere Elektroden: Platin, von Silastik überzogen, welches an bestimmten Stellen perforiert ist ("Tape-electrodes"); Lokalisation ventral, dorsal u. cranial. Stimulationsdauer: 1-3 Min.	alle 4-8 Std	14 Mo. (1) 13 Mo. (1) 10 Mo. (1)	Pi; VR; Urinmenge; Cystogramme; Kino-Röntgen
Kantrowitz ^{7,8} (7 ??; 13-18 kg)	L-4 bis L-6	Parameter wie Kantrowitz ^{7,8} ; jedoch mußte nach Wochen die Spannung ständig erhöht werden.	?	2,5 Mo. (1) 4 Mo. (2), da- von: 1 Hund nach puden- daler Neur- ektomie 1 Jahr	Harnfluß, Entl., Röntgen
Kantrowitz ⁹ ± Schamaun ¹⁷	intakt (12 bzw. 10) lumbal (17 bzw. 10)	Fortsetzung der Langzeitversuche von Kantrowitz ^{7,8} . Nach 3-6 Wochen war Spannung bis zu 50 V erforderlich.	?		Beruht die ständig zunehmende erforderliche Spannung auf mangelnder Ansprechbarkeit oder erhöhtem urethralen Widerstand? Pudendale Neurektomie Externer Impuls-Sender
Alexander ¹¹ (10 ??; ? kg)	?	Vorversuche: Alexander ¹¹	?	14 Tg	Stimulation mit und ohne Narkose
Ellis ¹³ (4 ??; + 1 Kontrolltier)	Höhe der 8. Rippe	Vorversuche: Ellis ^{12,13} Parameter: 3 Elektroden/7 V/ 1,5 msec/30 Hz/ Stimulations- dauer bis zu 1 Min.	alle 6-8 Std	26 Tg. (1) 21 Tg. (1) 20 Tg. (1) 15 Tg. (1)	Kino-Röntgen

Autor:
(Zahl und
Gewicht d.
Hunde)

Neurolog.
Befund:

Stimulation:

Häufig-
keit d.
Stimu-
lation:

Längste
Beobachtungs-
zeiten:

Kriterien,
Besondere Untersuchungen:

Jonge¹⁶

- b) 15(7m,8w) -siehe Kurzzeitversuche S. 31-
c) (von den -siehe Kurzzeitversuche S. 31-
20 Hunden) Unterbrechung des peripheren
6 ??;?kg Neurons 14 Tg. nach
Elektrodenimplantation.

2 X tgl. 24 Mo.
2 X tgl. 9 Mo.

Pi; VR; Entl.; Cystometrie;
Cystoskopie; Pi bei kon-
stanten Ausflußgeschwin-
igkeiten; Nierenfunktionsteste;
Miktionscystogramme,
Histologische Untersuchung
von Blasen und Nierengewebe.
Pi nach 20 Mo. bei 20 mA:
128 bzw. 72 cm H₂O

Rukujo²⁴
(Teil von
50 ?;?kg)

? Muskel: monophas. Rechteck/ 5-15 V/
bei ca 300 Ohm
Nerven: monophas. Rechteck/ 3 V/
bei ca 700 Ohm
direkte Drahtverbindung oder
mit externem Sender

? ? Mo.

Pi
Rö (+Residualurin)

Die Langzeitversuche an Hunden wurden aus folgenden Gründen
abgebrochen (soweit angegeben):

	Zahl und Geschlecht:	nach wel- cher Zeit:	Neurologie:	Autor:
1) Decubitus	1	15 Tg	C-8	13
	1m	49 Tg	C-8	5
	1m	2 Tg	Cauda	5
	?	?	?	4
2) Durch Paraplegie bedingt:	7	0-20 Tg	L ₄₋₆	7
3) Elektrode gebrochen:	1m	20 Tg	?	13
	?	2-12 Mo	?	16
4) Sonstiges tech- nisches Versagen:	1m	87 Tg	Cauda	5
	1w	14 Tg	Cauda	5
	4w	1/3, 5, 19, 60 Tg	C-8	5
5) Wundinfektion:	2m	3 Tg	C-8	5
6) Steigende Span- nung nötig:	?	?	L ₄₋₆	7
7) Hypotension (RR)	1m	1 Tg	C-8	5
8) Hundestaupe	1w	36 Tg	C-8	5
9) getötet	-	1-3 Wo	-	4
	2m	1, 4 Tg	C-8	5
	8w	3-109 Tg	C-8	5
	3w	50-82 Tg	Cauda	5
10) Überlebende:	1	1 Jahr	L ₄₋₆	7±9
	1	4 Mo	L ₄₋₆	7
	1	2,5 Mo	L ₄₋₆	7
	2w	21, 26	?	13
	?	2,5-20 Mo	?	16
	?	1-9 Mo	?	16

M E N S C H L I C H E N :

Autor: (Zahl der Patienten)	Neuro- logie:	Elektroden:	Reizstrom- form:	Spannung:	Inten- sität: dauer:	Impuls- frequenz: reizungs- dauer:	Gesamt- Kriterien:
Boyce ¹⁰ (Versuche wegen anästhe- Scherzen abgebro- chen	a) intakt, nicht anästhe- siert. para- plegisch	laterales Paar aus rostfreiem Stahl wie bei a)	Rechteck	15 V	ca. 0,5-3 mA	? 20 Hz	1-2 sec Pi; Aktionspo- tentiale von der Blaseninnenwand sec Pause...
Boyce ¹⁰ (3 Pat.)	para- plegisch	ein laterales Paar aus rost- freiem Stahl; bei Fibrosierung oder Dekompensa- tion mehrere (bis zu 4 Paaren)	Rechteck, Sinus, Dreieck	(1,3-38) 10-15 V	? (0,5-4,0) 0,5-1,0 msec	? (5-200) 20-30 Hz	20-30 sec Pi; Entl.; Kino-Röntgen; Kino-Fluoro- skopie.

Versuche ohne gezielte Parameteruntersuchung (Langzeitversuche):

Autor: (Zahl der Patienten)	Neurolog. Befund	Alter d.Stö- rung:	Klinischer Befund:	Stimulation:	Häufig- keit d. Stimu- lation:	Kriterien:	Verlauf:
Boyce ¹⁰ (3m)	völlige Detrusorlähmung		Vm vergrößert	Sinus/20 oder 40 V/ 60 Hz (=Frequenz des Stromnetzes)	? 1.Pat: 2.Pat: 3.Pat:	Schmerz im Bauch u. Penis; Kon- traktion der Oberschenkel-Adduktoren nach 3 Mo. Elektroden entfernt VR blieb hoch (150-200) nach 6 Mo. Elektroden entfernt kein Schmerz, VR 80; nach 4-5 Mo Elektroden gebrochen.	

Autor: (Zahl der Patienten)	Neurolog: Befund:	Alter d.Stö- Befund: rungs:	Klinischer Befund:	Stimulation:	Häufig- keit d. Stimu- lation:	Kriterien:	Verlauf:
Bradley ⁵ (4m; 3w)	Hirntumor: w Quadruplegie: m; Th-5: w Th-11: m L-1: m Paraplegie: m	w16 (1 Monat nach dem Unfall)	2-6 Scheiben- o. Band- elektroden auf Muskel Parameter: Bradley	?	Pi; Entl. Pat. Kontraktion d. Blase. Postoperativ: nur bei 2 Pat. Entleerung	Pi; Entl. Pat. Kontraktion d. Blase. Postoperativ: nur bei 2 Pat. Entleerung	
Schamaun ¹⁷ Kantrowitz Hald ² (1m)	m7J.; lumba- le Myelome- ningocele; Autonome Blase	7 J. Vm 125 VR 50-75 Harninfekt (Hydronephro- se, gering)	4-8 V	anfangs alle 1Std dann sel- tener	p _f 170 VR < 10 Kino-Rö.	e Nach 8 Mo. Elektroden- perforation in das Blasenlumen mit Pyelli- tis und Blasensteinen	
Kantrowitz ¹⁸ Hald ² (3m)	m15J.; Th-9 komplett	8 Mo. Vm 300 VR 200 Harninfekt geringe Hydro- nephrose, Balanoposthitis		?	p _f anfangs VR anfangs hoch, nach Urethraperforation ca. 40. Harnfluß 6 ml/sec	e Nach 1 Mo. 100 -135. nach Urethraperforation ca. 40. Harnfluß 6 ml/sec	
m50J.; Th-12 komplett	1 J. Vm 400 18 Mo. VR 350	10 V (Schmerzen in Beinen)	?	p _f anfangs VR > 175 nach pudend. Neurektomie: 20	e 1,25 Jahre ...	e Nach 4 Mo. Drähte abgelöst.	
m42J.; Th-8 bis L-1 inkomplett atone Blase	26 Mo. VR 200-500 Harninfekt	?	Nach Untersuchungen von Kantrowitz ¹⁸ : 2 Elektroden in die Blasenmuskulatur; Kantrowitz-Aveco-Stimulator: Biphas. Rechteckimpulse/(2,5-18 V)/4 msec/20 Hz.				

(Zahl der Patienten)	Nr. oder Befund:	Alter d. Stö- rung:	Klinischer Befund:	Stimulation:	Häufigkeit der Stimu- lation:	Kriterien:	Verlauf:
1. (10.)	40 J.: Th-6 C-6 untere Lähmg. 1 J.	3 J.	Atone Blase, Harnsteine	Nach eigenen Versuchen: 8 platinischeiben/ biphasisch/ 10-20 V/ 1 msec/ 20 Hz	Stimuliert ab 2. post. op. Woche, 3-4 stdl.	Frem: in 12 wo von 2 auf 11 ml/sec in 10 wo von 10 auf 20	
2. (1 Pat.)	42 J.: Th-6 C-6 inkomplett	11 Mo.	Atone Blase, intravesicula- le Drucke normal		sporadisch Entl.: keine Entleerung; nach 2 Wo.: reflektorische Blase	nach Elektrodenimplantation	
3. (1 Pat.)	23 J.: Th-10 6 Wo. Blase u. Perineum im spinaleu Schock	6 Wo.	hypotone Blase	(auch bei 3 mal tgl. mehrmals 15" - 30" in 15 Min.-Intervallen)	2-3 mal/ Woche	? ohne Erfolg	
4. (1 Pat.)	42 J.: C-6 inkomplett	9 Mo.	reflektorische Aktivität ohne Entleerungs- kontraktionen.	mehrmals 15" - 30" in 15 Min.-Intervallen	3 mal tgl. mehrmals 15" - 30" in 15 Min.-Intervallen	nach 11 Tg: reflektorische Blase; -katheterfrei-	anfangs keine Entleerung; jedoch Reizung der Muskulatur des Harnausflut- traktes; Besserung durch pudendale Nervenblockade, keine Entleerung. d. spontanen reflektor. Kontraktionen: reflektor Entleerung. -katheterfrei-
5. (1 Pat.)	40 J.: C-6 inkomplett	8 Mo.	atone Blase	Je 2 Elektroden bds. lateral täglich	mehrmals täglich	Pi: anfangs 15-22, nach 8 Tg. 122; bald reflektor. Entl.: -katheterfrei-	

E. Eigene Experimentelle Untersuchungen.

Die Stimulation des Detrusor m u s k e l s hat ein weiteres Indikationsgebiet als die Stimulation seiner Nerven. Daher wird der Muskel stimuliert.

Der erste Schritt zum Bau eines elektrischen Blasenstimulators ist die Kenntnis des optimalen Stimulationsstromes. Dieser Strom wird durch folgende Größen definiert:

- a) Reizstromform (dreieckig, rechteckig; monophasisch, biphasisch)
- b) Stromstärke (mA): I

Mißt man, wie die meisten Autoren, die an die Elektorden angelegte Stromspannung, so muß man -um bei verschiedenen Hunden die Ergebnisse vergleichen zu können- den elektrischen Widerstand zwischen den Elektroden kennen (vgl. S. 27)

- c) Impulsdauer (msec): T
- d) Pausendauer (msec): R

Da in der Literatur über diese optimalen Stromqualitäten unterschiedliche Angaben gemacht werden, sollen diese Stromqualitäten untersucht werden.

Methodik

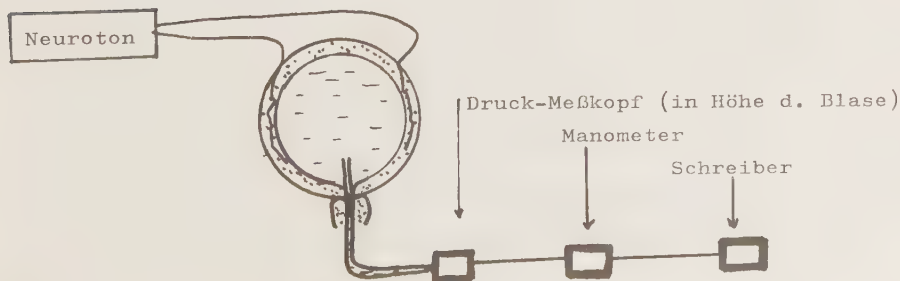


Abb. 2: Versuchsaufbau

Als Reizstromgerät wurde das stromgesteuerte Neuroton 626 verwendet; dieses gab monphasische Dreieck- bzw. Rechteckimpulse zwischen 0,05 und 1200 msec ab. Die Pausendauer konnte auf Werte 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000 und 5000 msec eingestellt werden. Die Stromstärke war stufenlos von 0 - 80 mA regulierbar.

Der intravesicale Druck wurde über einen urethralen Katheter von einem Telco Meßwandler Type RA 8 erfaßt und über ein Telco Manometer Type M 41 R und einen EKG-Schreiber registriert. Um fremde elektrische Einflüsse bei der Druckmessung auszuschließen, wurden die Drucke in einem als Faradayschen Käfig ausgebauten Tieroperationssaal gemessen.

Es wurden sieben männliche Bastardhunde in tiefer Trapanal-Narkose sofort nach der Elektrodenimplantation untersucht. Als Elektrodenmaterial wurden rostfreie Stahldrähte, die mit Polyvenylschläuchen isoliert waren, verwendet.

Um vergleichbare Meßergebnisse zu erhalten wurden bei allen Hunden folgende Versuchsbedingungen eingehalten:

1) konstantes Blasenvolumen bei allen Stimulationen:

Begründung: Kontrahiert sich ein gerader Muskel isometrisch,

so kann man die Wirkung dieser Kontraktion als Kraft messen. Da jedoch gleichartige Muskulatur um so

mehr Kraft erzeugen kann, je dicker sie ist, mißt man

besser die Kraft, welche die Muskulatur pro cm^2 erzeugt:

physikalisch ausgedrückt mißt man die Muskelspannung.

Man sollte daher den Erfolg einer elektrischen Muskelreizung nach der Muskelspannung beurteilen. Die Wirkung der isometrischen Kontraktion eines Hohlmuskels (wie die

Blase einer ist) äußert sich als Kraft, welche auf seinen Inhalt (Harn) gerichtet ist, woraus eine Druckerhöhung resultiert. Mathematisch ausgedrückt bestehen zwischen Druck (P), Kraft (K), Spannung (S) und Muskelmasse der Blase (Vd) folgende Beziehungen:

(1) Kraft, welche an jedem Äquator des Hohl Muskels wirkt:

$$K_1 = S \text{ mal Muskelquerschnitt}$$

(2) Druck in der Blase:

$$P = \frac{K_2}{\text{Fläche}} \quad \text{bzw.} \quad K_2 = P \text{ mal Fläche}$$

Nimmt man als "Fläche" die Fläche, welche man erhält, wenn man eine Ebene durch die Blasen-Kugelmittle legt, so ist $K_1 = K_2$, also:

$$S \cdot \text{Muskelquerschnitt} = P \cdot \text{Fläche}$$

$$S \cdot (\pi g^2 - \pi r^2) = P \cdot \pi r^2$$

$$S = P \cdot \frac{r^2}{g^2 - r^2} \quad (3)$$

Das Blasenmuskel-Volumen sei Vd

Das Blasenlumen sei Vr

dann gilt:

$$Vd = Vg - Vr$$

$$Vd = \frac{4}{3} \pi g^3 - \frac{4}{3} \pi r^3$$

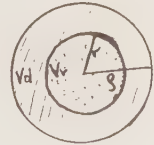
nach g^3 aufgelöst:

$$g^3 = \frac{3 \cdot Vd}{4 \cdot \pi} + r^3$$

$$g^3 = \left(\frac{3 \cdot Vd}{4 \cdot \pi} + r^3 \right)^{2/3} \quad (4)$$

Gleichung (4) in Gleichung (3) eingesetzt ergibt:

$$S = P \cdot \frac{1}{\frac{\left(\frac{3 \cdot Vd}{4 \cdot \pi} + r^3 \right)^{2/3}}{r^2} - 1}$$



$$S = P \cdot \frac{1}{\left(\frac{\frac{3 \cdot V_d}{4 \cdot \pi} + r^3}{r^3} \right)^{2/3} - 1}$$

$$S = P \cdot \frac{1}{\left(\frac{3 \cdot V_d}{4 \cdot \pi \cdot r^3} + 1 \right)^{2/3} - 1}$$

$$S = P \cdot \frac{1}{\left(\frac{V_d}{V_r} + 1 \right)^{2/3} - 1}$$

Diese Formel gibt die Beziehungen zwischen Muskelspannung, intravesicalem Druck, Blasenmuskelmasse und Blasenfüllungsvolumen an. Sie besagt, daß Blasendruck und Muskelspannung proportional sind, wenn das Blasenmuskelvolumen (V_d) und das Blasenfüllungsvolumen (V_r) konstant bleiben. Aus diesem Grunde wird beim selben Hund ($V_d = \text{constant}$) das Blasenfüllungsvolumen während der Stimulationsversuche konstant gehalten. Die Harnblase wurde jeweils mit $2/3$ des maximalen Blasenfüllungsvolumens gefüllt.

2) Füllung der Blase mit Wasser von 37°C

Begründung: Es besteht eine Abhängigkeit der Blasenantwort von der Blasentemperatur (Stewart⁶³).

- 3) Narkose: Wie schon andere Autoren beschrieben, konnten bei Vorversuchen je nach Narkosetiefe zwei typische Druckkurven beobachtet werden. In leichter Trapanal-Narkose stieg der intravesicale Druck nach Reizende noch stark an, während er bei tiefer Intubations-Trapanal-Narkose sofort nach Reizende absank. Der Druckanstieg nach Reizende

wird durch reflektorische Erregung (übers Rückenmark) der Blase erklärt.

Die Blasenerven wurden nicht durchtrennt, da die distalen Nervenstümpfe noch einige Zeit nach der Nervendurchschneidung erregbar sind. Da es aber das Ziel der Versuche war, die denervierte Blase zu stimulieren, wurden die Rückenmarksnerven durch eine tiefe Intubations-Trapanal-Narkose ausgeschaltet. (Hund D starb während der Stimulationsversuche an einer Trapanal-Überdosierung)

- 4) Berücksichtigung der Muskelermüdung: Die Harnblase wurde alle 90 sec stimuliert. Zu Beginn jeder Versuchsserie und dann alle 6 - 15 Minuten wurde die Blase mit einem Standardstrom (in der Regel $T=20/R=20/I=30$) stimuliert. Außerdem wurde die Blase vor und nach jeder Gabe des Narkotikums mit dem Standardstrom gereizt. Anhand der durch den Standardstrom hervorgerufenen Blasendruck wurde bei jeder Versuchsreihe eine Ermüdungskurve aufgestellt.
- 5) Die Stimulationsdauer betrug immer 5 sec. Vorversuche zeigten, daß der maximale Blasendruck beim jeweiligen Stimulus in der Regel innerhalb dieser Zeit erreicht wird.

Ergebnisse

1) Reizstormform:

Rechteckströme gaben bei sonst gleicher Stromqualität deutlich stärkere Druckanstiege als Dreieckimpulse.

Zur Frage der elektrolytischen Veränderungen wurden keine systematischen Versuche unternommen.

2) Stromstärke:

Wie aus der Abb. 3 zu ersehen ist, hängt der Blasendruck wesentlich von der Stromstärke ab. Die Blasendrucke steigen bei Stimulationen mit Strömen zwischen 10 und 40 mA steil an; über 40 mA wird die Kurve flacher. Stimulationsströme über 40 - 60 mA lassen bei freigelegter Blase an den Elektroden feine Blasenbildungen als weißen Schaum erkennen. Bei 60 - 80 mA trat stärkere Erwärmung des Gewebes um die Elektroden auf. Auf Grund dieser beiden Befunde wurden in der Regel Stromstärken über 30 mA nicht überschritten. Kontraktionen der benachbarten Muskulatur bei Stromstärken unter 30 mA konnte durch Lokalisation der Elektroden ganz in die Muskulatur vermieden werden.

Bei Stromstärken von 10-30(50) mA wurden folgende Blasendrucke erreicht:

Hund A	75 ml	10 mA	52 cm H ₂ O	
		20 mA	78 "	
Hund B	180 ml	10 mA	34 "	
		20 mA	54 "	
Hund C	100 ml	50 mA	50 "	
Hund D	150 ml	20 mA	118 "	
		10 mA	31 "	
Hund E	280 ml	30 mA	90 "	
		20 mA	62 "	

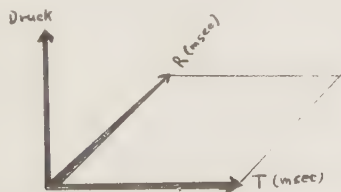
Hund F	750 ml	30 mA	59 cm H ₂ O
		20 mA	44 cm H ₂ O
Hund G	300 ml	30 mA	85 cm H ₂ O
		20 mA	85 cm H ₂ O

Eine Interferenz zwischen S_t Stromstärke und Impulsdauer bzw. Stromstärke und Pausendauer konnte nicht festgestellt werden. Bei den in Abb 3c,d dargestellten Versuchen wurden erst für 10 mA, dann für 20 mA und dann für 30 mA alle Varianten der Impulsdauer bzw. Pausendauer untersucht. Die Kurven verlaufen weitgehend gleichsinnig.

3) Impulsdauer u. Pausendauer:

Wie schon aus Abb. 3 c,d hervorgeht, liegen die günstigeren Werte für die Impulsdauer zwischen 3 und 20 msec (mit optimalem Wert bei 6 msec), für die Pausendauer zwischen 5 und 20 msec.

Da die Möglichkeit einer Interferenz zwischen Impuls- und Pausendauer besteht, wurden beide gleichzeitig in einer Versuchsserie untersucht. Bei allen Tieren, außer Hund B, wurde bei den verschiedenen Werten der Impulsdauer jeweils die Pausendauer stufenweise verändert (dicke Kurven). Bei den Hunden E, F und G wurden zusätzlich in einer zweiten Versuchsreihe die Pausendauer für verschiedene Werte der Impulsdauer verändert (dünne Kurven). Die Ergebnisse wurden für jeden Hund in einem dreidimensionalen Diagramm mit folgenden Koordinaten aufgezeichnet:



Ein Beispiel eines so entstehenden Gebäudes zeigt die Abb. 4. Die Isobaren -d.h. die Verbindungslinien gleich hoher Drucke- von 80%, 90% und 95% der Maximaldruck und die Maximaldrucke (= 100%) sind für jeden Hund in einer Abbildung aufgezeichnet (Abb. 5 - 10).

Bei Hund A wurden keine Stimulationen mit Standardströmen gemacht. Da die Muskelermüdung nicht berücksichtigt werden kann, ergeben die Isobaren, welche man auf Grund der tatsächlichen Druckwerte erhält, ein falsches Bild von dem optimalen Stimulationsstrom. Die Isobaren des Hundes A wurden daher nicht abgebildet.

Projiziert man nun alle Isobaren von 95% (90%) der jeweiligen Maximaldrucke übereinander, so erhält man die Abb. ¹¹~~10~~ (Abb. 12). Die optimalen Zeiten für Impulse liegen nach Abb ¹¹~~10~~ bei 6 - 10 (20) msec, für die Pausen bei 20 msec. Dies entspricht einer Frequenz von 24 - 44 (50) Hz. Die Abb. 12 zeigt, daß bei einem Reiz $T=10/R=18$ der Blasendruck bei 8 von 9 Versuchsreihen über 90% des jeweiligen Maximaldruckes erreichte. Die Variationsbreite der Pausendauer ist bei den einzelnen Hunden größer als die der Impulsdauer. Da wegen möglicher elektrolytischer Veränderungen die Impulsdauer kurz gehalten werden soll, ist der optimale Reizstrom $T = 6$ msec / $R = 20$ msec / $I =$ unter 35 mA. Die Kombination $T = 6$ msec / $R = 20$ msec entspricht einer Frequenz von 38 Hz. Will man, um Ermüdung der Ganglien und elektrolytische Veränderungen zu vermeiden, die Frequenz möglichst klein halten, so ist dies nur mit einer Veränderung der Pausendauer sinnvoll. Wie aus den Isobaren der Abb. 5-10 zu erkennen ist, sinkt der Blasendruck bei Verringerung der Impulsdauer schon um kurze Zeiten erheblich.

Abschließend soll noch ein Nebebefund erwähnt werden:

Beim Vergleich der Blasendruck nach Elektrostimulation mit dem Standardreiz fiel auf, daß eine Veränderung des Blasen-Ruhe-Druckes offenbar einen Einfluß auf die Druckantwort der Blase hatte. Beim Hund G wurde daher die Abhängigkeit der Blasendrucke nach Stimulation mit einem Standardreiz von verschiedenen Blasenfüllungsvolumina untersucht. Die Ergebnisse sind in Abb. 15 wiedergegeben. Aus dieser Abbildung ist zu erkennen, daß, je größer das Blasen-volumen und damit der Blasen-Ruhedruck ist, um so höher ist auch der Druck nach Stimulation. Welcher Faktor hierfür verantwortlich ist - das Blasen-volumen, der Ruhedruck, oder die Kombination von beiden in Form der Muskelspannung - kann auf Grund dieser Kurve nicht entschieden werden.

Während der Ruhedruck und Druck nach Stimulation gleichförmig mehr oder weniger ansteigen (vgl. Abb. 13), ist dies bei Füllung der Blase auf 300 ml (=maximales Blasen-volumen) nicht der Fall. Während der Ruhedruck steiler ansteigt, steigt der Druck nach Blasenstimulation kaum höher als bei einem Blasen-volumen von 250 ml. Dieser Befund stimmt mit den Aussagen anderer Autoren^{4,22} überein.

Abb. 3a

Abhängigkeit des Auszuges von der Stromstärke

Hund F

$T=10/R=20/I=var$

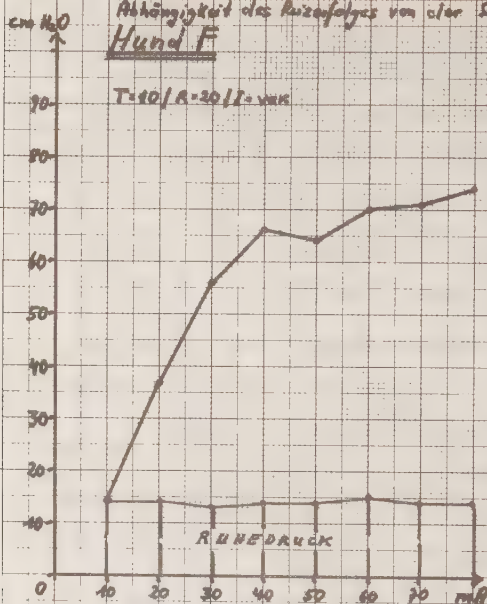


Abb. 3b

Abhängigkeit des Auszuges von der Stromstärke

Hund G

$T=20/R=30/I=var$

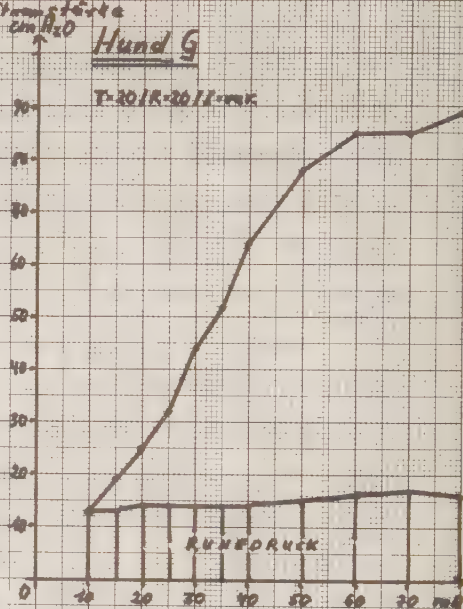


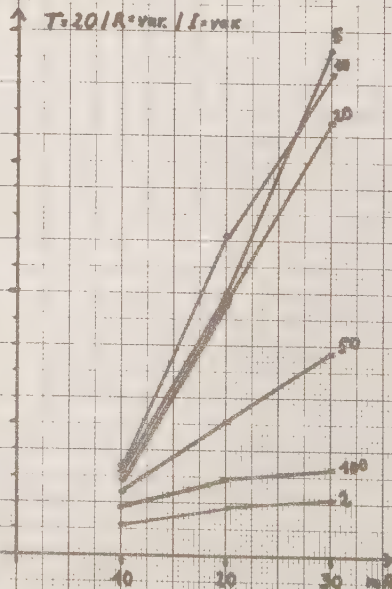
Abb. 3c

nach der Erwärmungskurve

Korrigierte

Drücke

$T=20/R=var, I=var$



Hund D

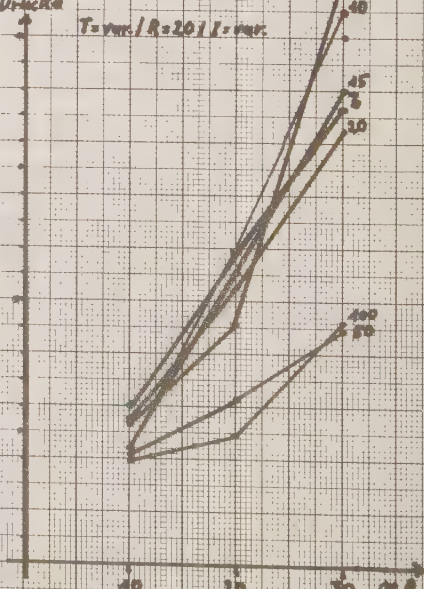
Abb. 3d

nach der Erwärmungskurve

Korrigierte

Drücke

$T=var, R=20/I=var$



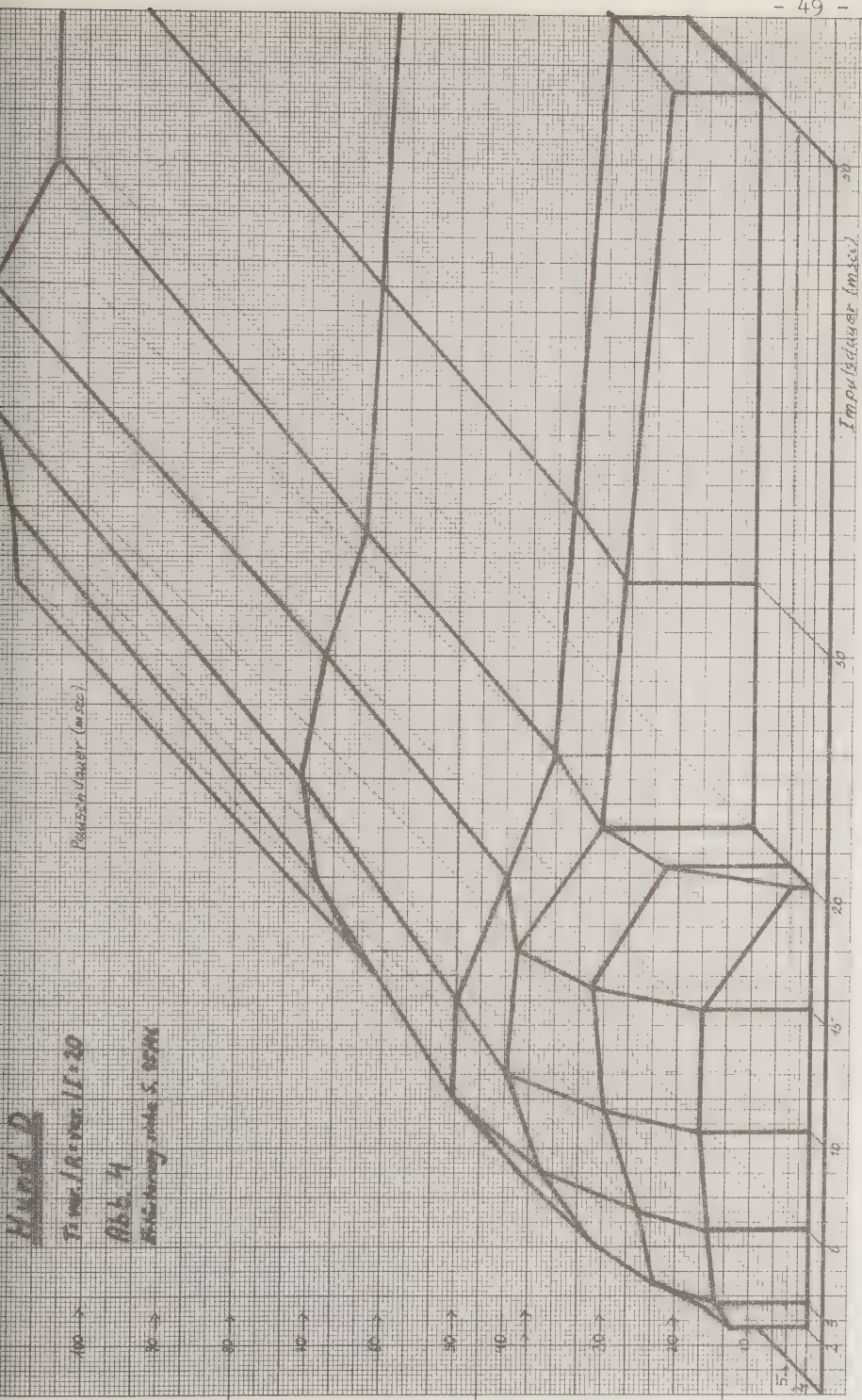
Hand D

Time / Arrive II: 20

Abb. 4

Stückzahl: 100 Stk

Reisen (nur in 100)



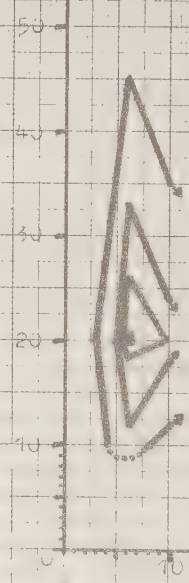
Pausendauer
msec

Abb. 5

Erkältung siehe S. 45/46

Hund B

$T_{\text{rec}} / A_{\text{rec}} / I = 10$



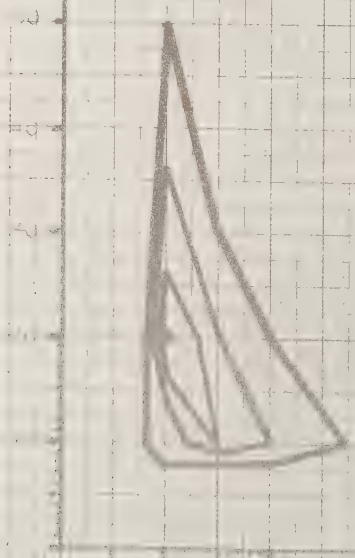
Pausendauer
msec

Abb. 6

Erkältung siehe S. 45/46

Hund C

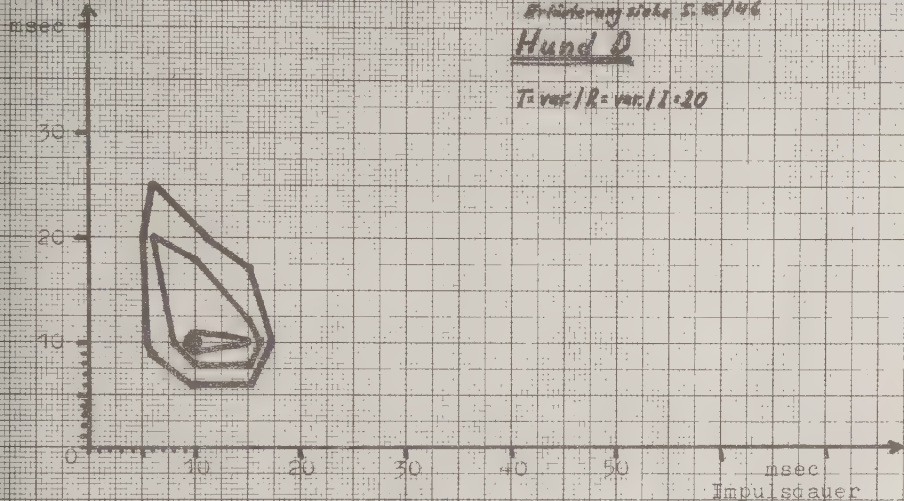
$T_{\text{rec}} / A_{\text{rec}} / I = 50$



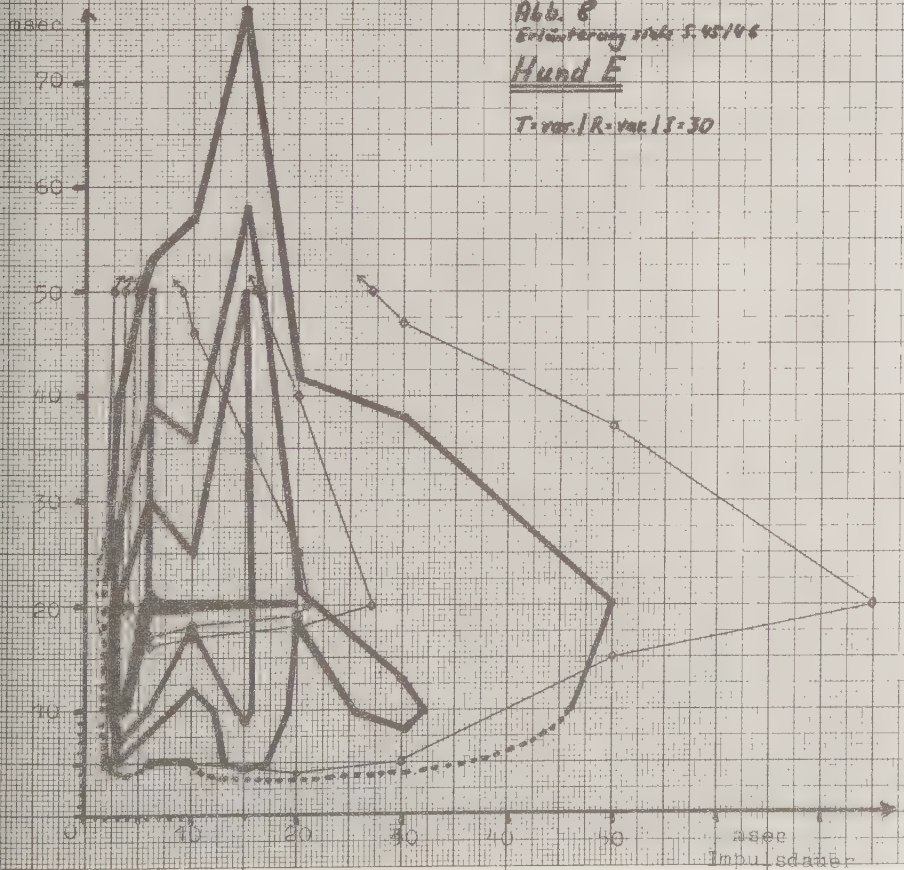
Impulsdauer
msec

Impulsdauer
msec

Pausendauer



Pausendauer



Pausendauer

↑

Abb. 9

Erkennung siehe S. 95/96

Hund G $T_{var}/R_{var}/I = 30$

50

40

30

20

10

0

msec.

Impulsdauer

Pausendauer

↑

Abb. 10

Erkennung siehe S. 95/96

Hund F $T_{var}/R_{var}/I = 30$

50

40

30

20

10

0

msec.

Impulsdauer

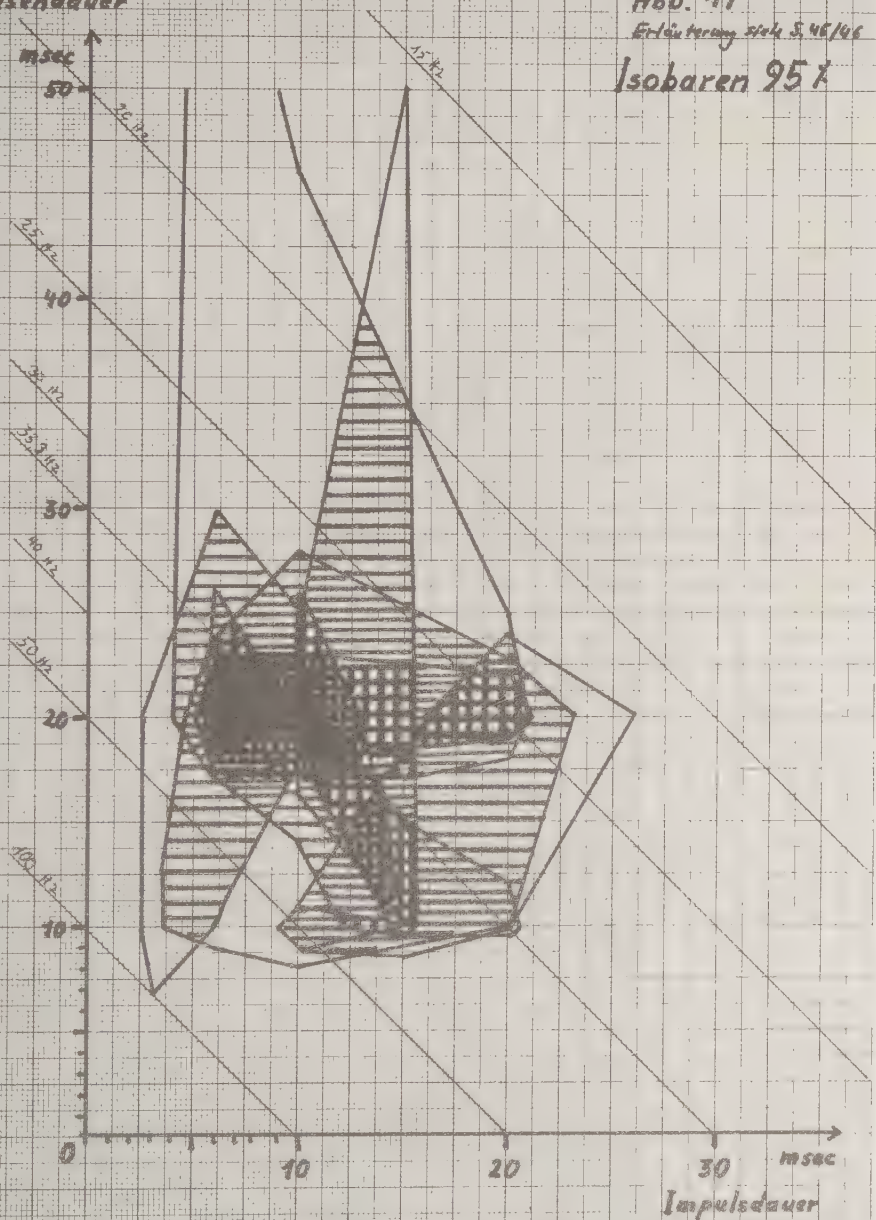
79 Hz

Pausendauer

Abb. 11

Erdbebenmessung Seite 5.46/46

Isobaren 95%



Pausendauer

msec

50

40

30

20

10

0

Abb 12

Erläuterung siehe S. 157118

Isobaren 90%

20

30

msec

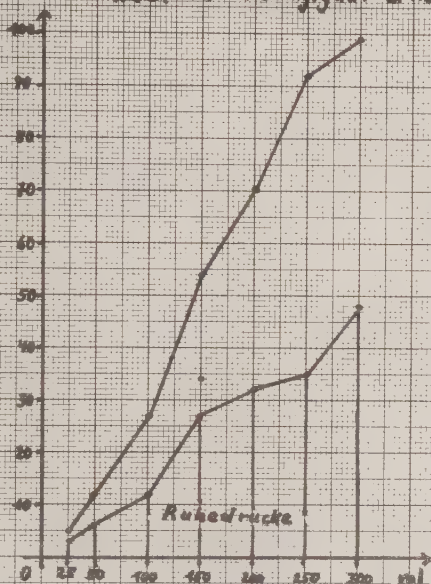
Impulsdauer



T-20/A-20/1-50

cm H₂O

Abb. 13: Abhängigkeit d. Ruhezufolges vom Blasenfüllungsvolumen



Diskussion

Reizstromform:

Im Gegensatz zu den Ergebnissen Grabers¹⁴ waren Rechteckimpulse wirksamer als Sinusströme. Da Graber jedoch keine Impulsdauer der Sinus- und Rechteckströme angibt, sind die Ergebnisse nicht vergleichbar.

Stromstärke:

Der physiologische Miktionsdruck bei Hunden ist nach Hald³⁵ im Durchschnitt 57 cm H₂O. Die kleinste Stromstärke, welche noch einen ausreichenden Blasendruck hervorruft, variiert von Hund zu Hund. Die Ursache mag -neben der verschiedenen Blasengrößen- an der Elektrodenlokalisation liegen. So wurden beim Hund F mit sehr großer Blase (750 ml) anfänglich die Elektroden zu klein angelegt. Bei Stimulation kontrahierten sich nur die die Elektroden umgebenden Muskelbezirke, die elektrodenferne Muskulatur wurde passiv gedehnt, so daß kein nennenswerter Druckanstieg zu erhalten war. Erst nach Implantation zweier größerer Elektroden stieg der Druck auf Werte um 50 cm H₂O.

Vergleicht man die Blasengrößen mit den Reizströmen, welche Blasendrucke von über 50 cm H₂O ergaben, so

reichen 10 mA aus bei Hund A (75 ml)

" 20 mA " " Hund B (180 ml)

Hund D (150 ml)

Hund E (280 ml)

Hund G (300 ml)

" 30 mA " " Hund F (750 ml)

Hund C sprach auf Impulse unter 50 mA schlecht an. Die Ursache hierfür dürfte in der Variation der Elektrodenanordnung liegen.

Diese Befunde und die auf Seite 17 gemachten Ausführungen über die elektrische Qualität, welche die Muskelerregung auslöst, weisen auf die Beziehungen zwischen Stromstärke, Elektroden- und Blasengröße hin: Die Elektroden müssen der Blasengröße angepaßt sein. Von der Dimension der Elektroden hängt andererseits die Stromdichte ab, d.h. je größer die Elektroden sind, um so kleiner ist bei derselben Stromstärke die Stromdichte. Da die Stromdichte wegen der Möglichkeit geweblicher Schädigung möglichst niedrig gehalten werden soll, sollen die Elektroden groß bzw. zahlreich sein.

Die Stromdichte, bei welcher keine geweblichen Veränderungen mehr zu befürchten sind, liegt (beim Herzen) bei $5 \frac{\text{mikro-Ampere}}{\text{cm}^2}$.⁶⁰

An der Blase riefen Ströme mit einer Dichte von 3 - 5 mA/cm² beste kontraktile Antwort der Muskulatur hervor⁶⁷.

Impuls- und Pausendauer (Frequenz):

In Abb. 11 sind die Beziehungen Impulsdauer/Pausendauer zur Frequenz dargestellt. Die eigenen Befunde hinsichtlich der Frequenz stimmen mit Burghelle³¹,^{Rukydob} und Potempa²⁶ und annähernd mit Kantrowitz⁷ überein. Burghelle und Kantrowitz geben jedoch 15 bzw. 20 Hz (die niedrigste Frequenz mit jeweils gutem Wirkungsgrad) an. Acht der neun eigenen Untersuchungsserien ergeben bei 20 Hz Druckanstiege über 80% des Maximaldruckes; bei 38 Hz (T=10msec/ R=18msec) liegen acht der neun Untersuchungsergebnisse über 90% des jeweiligen Maximaldruckes, bzw. bei 33,3 Hz (T=10msec/R=20msec) liegen sieben von neun Untersuchungsergebnisse über 95%. Stimulationen über 100 Hz ergaben meist nur noch geringe Blasendruckerhöhungen. Eine Diskrepanz eigener Untersuchungen zu denen anderer

Autoren besteht in der Impulsdauer. Während nach eigenen Untersuchungen die optimale Impulsdauer zwischen 5 - 10 msec liegt, wird die optimale Impulsdauer bei den meisten früheren Untersuchern mit 1.- 5 msec angegeben. Nach eigenen Befunden können bei einer Impulsdauer von z.B. 3 msec nur 3 von 6 Hunden über 80% des jeweiligen Maximaldruckes erzeugen. Die Befunde Burghelles ^{und Fukujos} über die Impulsdauer stimmen mit den eigenen Ergebnissen überein.

Ob die Narkosetiefe einen Einfluß auf die optimale Impulsdauer hat ist noch ungeklärt.

Zweck dieser Untersuchungen war es mehr die Variationsbreite der wirksamen elektrischen Reizparameter, als die optimalen Spitzenwerte zu finden. Wie die Abb. 3 sowie 5-10 zeigen, ist die Variationsbreite für jeden Hund unterschiedlich. Große Kurven in Abb. 5 - 10 bedeuten eine große Variationsbreite der Impuls- u. Pausendauer.

Die Kurven der Abb. 5 - 10 werden von 3 Geraden begrenzt:

1. kleinste ausreichende Impulsdauer (z.B. bei Hund F: 2,5 msec)
2. kleinste ausreichende Pausendauer (z.B. Hund F: 7,5 msec)
3. kleinste ausreichende Frequenz (z.B. Hund F: 19 Hz)

Die größte ausreichende Frequenz wird annähernd durch die kleinste Impuls- und Pausendauer bestimmt.

Wie erwähnt (vgl. S. 21), bedeutet die Anwendung von Reizimpulsen, welche den intravesicalen Druck erhöhen können, nicht schon eine Detrusorentleerung. Daher ist der nächste Schritt zum Blasenschrittmacher die Untersuchung der Reizparameter hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Widerstandserhöhung

in der Urethra (z.B. mit Hilfe der Harnflußmessung bei konstant gehaltenem Blasendruck). Gleichzeitig sollte die optimale Elektrodenzahl, -größe und -anordnung bestimmt werden.

Erst nach dem Vergleich der optimalen Reizparameter, welche den geringsten Einfluß auf die die Urethra umgebende quergestreifte Muskulatur haben mit den Parametern, welche in dieser Arbeit beschrieben wurden, wird man wirklich die "optimalen" elektrischen Reizparameter zur therapeutischen Stimulation der Harnblase kennen.

ZUSAMMENFASSUNG

Nach Definition der Lähmungsblase werden konservative und moderne Methoden zur Behandlung der neurogenen Blase beschrieben. Eine vollständige Literaturübersicht zum Problem der Elektrostimulation der Harnblase wird .. durch eigene experimentelle Untersuchungen ergänzt.

A n h a n g: Meßergebnisse

Impulsdauer = T: in Millisekunden (msec)

Pausendauer = R: in Millisekunden (msec)

Stromstärke = I: in Milliampere (mA)

Sämtliche Drucke wurden in $\text{cm H}_2\text{O} = \frac{P}{\text{cm}^2}$ gemessen.

Die nach der Ermüdungskurve berechneten Drucke geben den Prozentanteil des mit dem jeweiligen Standardstrom (S) erreichten Druckes an.

Stimulationshäufigkeit: alle 90 sec.

Stimulationsdauer: Bei Hund A 10 msec; bei allen anderen Hunden 5 msec.

H U N D A:

Elektroden: Fagersta Draht 19 X 0,05
ringförmig bilateral im cranialen Anteil der
Harnblase implantiert.

T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck
10	20	20	18	78
1	10	10	18	20
2	10	10	18	21
3	10	10	17	24
6	10	10	18	28
10	10	10	16	29
20	10	10	15	32
30	10	10	12	33
50	10	10	10	32
100	10	10	7	10
1	20	10	7	16
2	20	10	8	20
3	20	10	10	20
6	20	10	10	28
10	20	10	10	36
20	20	10	10	50
30	20	10	10	48
50	20	10	10	46
100	20	10	10	45
1	50	10	8	15
2	50	10	9	26
3	50	10	8	46
6	50	10	9	52
10	50	10	10	50
20	50	10	10	50
30	50	10	10	52
50	50	10	10	52
100	50	10	10	46
1	100	10	10	14
2	100	10	9	13

T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck
1	100	10	10	14
2	100	10	9	13
3	100	10	9	15
6	100	10	9	17
10	100	10	8	18
20	100	10	6	17
30	100	10	7	18
50	100	10	7	18
100	100	10	7	14
1	10	20	8	24
2	10	20	8	22
3	10	20	8	20
6	10	20	7	28
10	10	20	6	32
20	10	20	6	34
30	10	20	7	28
50	10	20	8	28
100	10	20	9	13
- 5 Minuten Pause -				
1	20	20	10	23
2	20	20	10	29
3	20	20	10	32
6	20	20	10	36
10	20	20	10	36
20	20	20	11	40
30	20	20	11	39
50	20	20	11	39
100	20	20	11	32
1	50	20	11	22
2	50	20	11	28
3	50	20	11	30
6	50	20	11	32
10	50	20	10	37
20	50	20	10	18
30	50	20	10	22
50	50	20	10	24
100	50	20	10	20
1	100	20	10	14
2	100	20	10	21
3	100	20	10	22
6	100	20	10	27
10	100	20	10	28
20	100	20	10	28
30	100	20	10	28
50	100	20	11	28
100	100	20	11	25

H U N D B:

Elektroden: Fagersta Draht 19 X 0,05
spiralenförmig bilateral im cranialen Anteil der
Harnblase implantiert.

	T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck
	1	10	5	7	8
	10	10	5	7	10
	10	50	5	7	8
	10	10	20	7	47
	-kurze Pause-				
S	10	50	10	7	34
	20	50	10	7	31
	30	50	10	7	27
	50	50	10	7	24
	6	50	10	7	25
S	10	50	10	6	23
	100	50	10	5	22
	200	50	10	6	14
	3	50	10	6	19
	2	50	10	6	13
	10	100	10	6	12
	6	100	10	5	11
	20	100	10	6	12
	6	50	10	7	19
	6	20	10	6	24
	10	20	10	7	22
	10	50	10	6	16
	20	20	10	6	16
	6	20	10	7	17
	6	20	10	8	22
	30	20	10	7	15
	250	50	10	7	10
	250	20	10	7	8
	250	100	10	7	9
	3	20	10	7	14
S	10	50	10	7	14
	10	20	10	7	16
	6	20	10	7	18
	6	50	10	7	15
	3	50	10	7	14
	6	10	10	7	18
	3	10	10	7	14
	6	20	10	7	14
	6	10	10	7	14
	10	10	10	7	14
	10	20	10	7	15
S	10	50	10	7	13
	6	20	10	7	16
	6	50	10	7	13
	3	20	10	6	13
	6	20	10	4	10

H U N D C:

Elektroden: Fagersta Draht 19 X 0,05
ringförmig bilateral im cranialen Anteil der
Harnblase implantiert.

T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck	Differenz
10	50	20	12	24	12
10	50	30	14	33	19
- Trapanal -					
10	50	40	6	18	12
10	50	30	6	14	8
10	50	40	8	20	12
10	50	50	10	22	12
10	50	60	11	28	17
10	50	70	11	33	22
10	50	80	12	36	24
- Pause -					
10	20	50	13	33	20
10	10	50	10	28	18
10	50	50	10	26	16
10	2	50	15	24	9
10	1	50	14	20	6
10	100	50	12	20	8
10	50	50	14	24	10
10	200	50	14	18	4
6	2	50	14	26	12
6	5	50	15	30	15
6	10	50	14	28	14
6	20	50	14	28	14
6	50	50	13	24	11
6	100	50	12	20	8
6	20	50	13	28	15
6	100	50	14	19	5
3	20	50	12	24	12
3	10	50	13	23	10
3	5	50	14	28	14
3	2	50	15	22	7
3	20	50	15	30	15
3	50	50	16	28	12
3	100	50	16	23	7
20	2	50	16	18	2
20	5	50	16	28	12
20	10	50	14	34	20
20	20	50	16	38	22
20	50	50	16	40	24
20	10	50	17	43	26
- Trapanal -					
20	10	50	14	24	10
20	20	50	14	25	11
20	50	50	14	22	6
20	100	50	14	16	2
20	10	50	14	25	11

T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck	Differenz
2	2	50	12	20	12
2	5	50	14	22	8
2	10	50	14	24	10
2	20	50	14	26	12
2	50	50	14	22	8
2	50	50	15	23	8
15	5	50	13	28	15
15	10	50	15	34	19
15	20	50	17	35	18
15	50	50	15	28	13
15	100	50	16	21	5
30	5	50	15	27	12
30	10	50	15	30	15
30	20	50	16	29	13
30	50	50	15	27	12
30	100	50	14	22	6

H U N D D:

Elektroden: Fagersta Draht 19 X 0,05
ringförmig bilateral im cranialen Anteil der
Harnblase implantiert.

	T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck	Nach der Ermüdungskurve korrigierte Werte (%)
S	20	20	20	14	118	100
S	20	20	20	14	118	100
S	20	20	20	12	91	100
	20	2	5	12	12	--
	20	5	5	11	15	14
	20	10	5	11	16	15
	20	20	5	12	16	15
	20	50	5	10	12	11
	20	100	5	12	12	--
	20	2	10	10	12	12
S	20	20	20	10	101	100
	20	5	10	12	31	32
	20	10	10	12	32	34
	20	10	10	10	26	28
	20	20	10	11	26	29
	20	50	10	11	21	24
	20	100	10	11	16	18
S	20	20	20	10	101	100
- 30 Min. Pause - - Trapanal -						
S	20	20	20	10	89	100
	20	2	20	12	14	18
	20	5	20	12	78	100
	20	2	20	13	15	19
	20	5	20	14	84	112
	20	10	20	13	90	122
S	20	20	20	13	72	100
	20	50	20	14	36	51
	20	100	20	12	20	29

	T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck	Nach der Ermüdungskurve korrigierte Werte (%)
S	20	20	20	12	66	100
	20	2	30	12	14	14
	20	5	30	11	123	193
S	20	20	20	13	67	100
	20	10	30	13	117	186
	20	20	30	12	104	176
	20	50	30	12	47	87
	20	100	30	12	20	40
S	20	20	20	12	46	100
	2	20	20	11	47	100
	3	20	20	11	53	109
	3	20	20	12	57	114
	0,5	20	20	12	19	37
	6	20	20	11	66	125
	10	20	20	12	64	119
	15	20	20	12	60	107
S	20	20	20	13	56	100
	50	20	20	12	34	58
	100	20	20	13	26	43
	3	20	10	13	28	44
	6	20	10	13	31	47
	10	20	10	13	23	3
	15	20	10	12	23	33
	20	20	10	13	28	39
	50	20	10	12	22	30
	100	20	10	12	20	26
S	20	20	20	12	78	100
	3	20	30	12	116	157
	10	20	30	20	106	156
	15	20	30	14	91	142
	20	20	30	14	83	136
	20	20	30	20	79	136
	30	20	30	14	44	81
	20	20	30	12	63	125
S	20	20	20	18	44	100
S	20	20	20	13	46	100
	30	20	30	13	61	130
	6	20	30	12	85	174
	50	20	30	14	42	83
	100	20	30	13	44	85
S	20	20	20	13	54	100
	2	2	20	14	28	60
	2	5	20	13	30	64
	2	10	20	13	32	70
	2	20	20	13	32	70
	2	50	20	13	24	52
	2	100	20	13	17	38
S	20	20	20	13	38	100
- 5 Min. Pause -						
- Trapanal -						
S	20	20	20	13	50	100
	3	2	20	14	34	77
	3	5	20	14	48	110
	3	10	20	15	54	125
	3	20	20	16	56	130
	3	50	20	16	34	81
	3	100	20	15	24	57

T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck	Nach der Ermüdungskurve korrigierte Werte (%)
6	2	20	15	34	82
6	5	20	15	50	122
6	10	20	16	70	170
6	20	20	16	74	180
6	50	20	16	48	117
6	100	20	?	?	?
10	2	20	17	39	95
10	5	20	17	62	152
10	10	20	18	80	200
10	20	20	?	?	?
10	50	20	18	52	127
10	100	20	18	32	79
15	2	20	17	36	88
15	5	20	17	66	160
15	10	20	17	78	190
15	20	20	18	56	140
- Trapanal -					

an Trapanalüberdosierung gestorben.

H U N D E:

Elektroden: Fagersta Draht 19 X 0,05
ringförmig bilateral im cranialen Anteil der
Harnblase implantiert.

	T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck	Nach der Ermüdungskurve korrigierte Werte (%)
	20	20	5	24	24	--
	20	20	7,5	24	24	--
	20	20	10	22	27	--
	20	20	15	24	37	--
	20	20	20	21	47	--
	20	20	30	20	68	--
	20	20	40	18	84	--
	20	20	50	16	86	--
- Trapanal -						
S	20	20	30	16	80	100
S	20	20	30	19	76	100
S	20	20	30	17	72	100
	2	5	30	17	64	90
	2	10	30	17	65	94
	2	20	30	16	63	93
	2	50	30	16	44	65
	2	100	30	16	27	42
S	20	20	30	15	64	100
	3	5	30	16	65	102
	3	10	30	17	71	110
	3	20	30	17	69	107
	3	50	30	18	54	83
- Trapanal -						
S	20	20	30	16	62	100
S	20	20	30	19	59	100
S	20	20	30	18	62	100

T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck	Nach der Ermüdungskurve korrigierte Werte (%)	
	6	5	30	19	58	90
	6	10	30	18	72	107
	6	20	30	18	78	112
	6	50	30	20	67	94
S	20	20	30	20	74	100
- 5 Minuten Pause-						
S	20	20	30	22	76	100
S	20	20	30	22	74	100
	10	5	30	24	68	90
	10	10	30	24	75	97
	10	20	30	26	87	110
	10	50	30	27	74	92
	10	100	30	28	62	76
- 10 Minuten Pause -						
S	20	20	30	34	81	100
	15	5	30	35	86	105
	15	10	30	34	90	108
	15	20	30	35	90	107
	15	50	30	35	90	106
	15	100	30	35	65	76
S	20	20	30	35	86	100
	20	20	20	33	76	86
	20	20	10	35	54	60
	20	20	5	35	40	43
S	20	20	30	35	93	100
- Trapanal-						
S	20	20	30	35	76	100
	20	5	30	34	72	93
	20	10	30	34	77	98
S	20	20	30	34	78	100
	20	50	30	33	71	89
	20	100	30	36	61	75
S	20	20	30	36	83	100
	30	5	30	38	81	97
	30	10	30	36	86	102
	30	20	30	35	83	98
	30	50	30	35	75	87
	30	100	30	36	65	75
S	20	20	30	36	88	100
- Trapanal -						
S	20	20	30	37	86	100
	50	10	30	39	76	87
	50	20	30	37	80	91
	50	50	30	38	72	81
	50	100	30	36	64	71
S	20	20	30	36	91	100
	100	10	30	38	48	52
	100	20	30	40	70	76
	100	50	30	40	70	75
	100	100	30	40	66	70
S	20	20	30	39	94	100
- Trapanal -						
S	20	20	30	38	87	100

	T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck	Nach der Ermüdungskurve korrigierte Werte (%)
	2	5	30	38	70	82
	2	10	30	40	75	88
	2	20	30	39	74	88
	2	50	30	37	71	86
S	20	20	30	38	82	100
	2	5	30	40	86	82
	3	5	30	38	86	82
	6	5	30	40	70	83
	10	5	30	36	70	82
	20	5	30	40	74	86
	30	5	30	37	72	83
S	20	2	30	38	88	100
- Trapanal -						
S	20	20	30	24	60	100
	2	10	30	24	60	100
	3	10	30	23	48	80
	6	10	30	20	48	80
	10	10	30	22	48	80
	20	10	30	22	46	77
	30	10	30	20	44	73
	50	10	30	22	42	70
	100	10	30	16	16	27
S	20	20	30	22	61	100
	2	20	30	22	51	85
	3	20	30	21	56	93
	6	20	30	21	62	103
	10	20	30	22	60	100
S	20	20	30	24	56	100
	30	20	30	21	54	90
	50	20	30	24	54	90
	100	20	30	27	45	75
S	20	20	30	22	60	100
	2	30	30	22	44	73
	3	30	30	22	55	92
	6	30	30	22	70	103
	10	30	30	22	58	97
	20	30	30	22	54	90
	30	30	30	22	48	80
	50	30	30	22	45	75
	100	30	30	22	40	67
S	20	20	30	22	60	100
S	20	20	30	6	34	
S	20	20	30	7	43	
S	20	20	30	9	38	
S	20	20	30	22	56	
S	20	20	30	15	56	
S	20	20	30	13	56	
S	20	20	30	27	68	
S	20	20	30	23	70	
S	20	20	30	22	67	
S	20	20	30	44	87	
S	20	20	30	31	86	
S	20	20	30	30	93	
S	20	20	30	40	97	
S	20	20	30	34	88	
S	20	20	30	44	104	
S	20	20	30	51	106	
S	20	20	30	36	99	

	T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck	Nach der Ermüdungskurve korrigierte Werte (%)
S	20	20	30	55	107	
S	20	20	30	42	96	
S	20	20	30	63	110	
S	20	20	30	41	94	
S	20	20	30	48	98	
S	20	20	30	38	80	
S	20	20	30	33	30	
S	20	20	30	30	77	
S	20	20	30	45	82	
S	20	20	30	31	66	

H U N D F:

Elektroden: Fagersta Draht 19 X 0,05
bilateral u-förmig von der Blasen hinterwand übers
Blasendach zur Blasen vorderwand implantiert.

	T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck	Nach der Ermüdungskurve korrigierte Werte (%)
S	20	20	30 (2 sec.)	8	17	
S	20	20	30 { 5 sec. }	8	17	100
S	20	20	30 { 7,5 sec. }	8	16	
S	20	20	30 { 10 sec. }	8	16	
- 6 Minuten Pause -						
	2	5	30	18	36	72
	2	10	30	15	37	72
	2	20	30	16	44	83
	2	50	30	14	36	67
	2	100	30	16	26	47
	20	20	20	13	36	63
S	20	20	30	13	58	100
	20	20	20	15	32	56
S	20	20	30	14	56	100
	30	5	30	16	38	67
	30	10	30	14	47	82
	30	20	30	14	46	85
	30	50	30	16	38	66
	30	100	30	13	26	45
	3	5	30	14	46	79
S	20	20	30	16	59	100
	3	10	30	16	49	83
	3	20	30	16	54	91
S	20	20	30	13	24	100
	3	20	30	12	23	82
	3	50	30	13	28	85
	3	100	30	13	19	51
S	20	20	30	13	41	100
	6	5	30	15	31	75
	6	10	30	13	40	95
	6	20	30	14	44	106
	6	50	30	15	35	81
	6	100	30	14	24	55

	T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck	Nach der Ermüdungskurve korrigierte Werte (%)
S	20	20	30	13	44	100
	10	5	30	14	37	82
	10	10	30	15	46	100
	10	20	30	16	50	106
	10	50	30	15	37	78
	10	100	30	14	25	52
S	20	20	30	14	49	100
	- Trapanal -					
S	20	20	30	10	46	100
	15	5	30	15	39	69
	15	10	30	16	50	107
	15	20	30	16	45	97
	15	50	30	15	35	74
	15	100	30	14	24	51
S	20	20	30	13	47	100
	20	5	30	16	35	75
	20	10	30	15	48	104
S	20	20	30	15	46	100
	20	50	30	16	34	69
	20	100	30	14	25	47
S	20	20	30	14	52	100
	- Trapanal -					
S	20	20	30	15	46	100
	50	10	30	15	35	74
	50	20	30	14	38	79
	50	50	30	14	30	61
	20	100	30	14	26	52
S	20	20	30	14	52	100
	100	10	30	16	18	35
	100	20	30	15	30	56
	100	50	30	14	28	52
	100	100	30	14	26	47
S	20	20	30	13	56	100
	- Trapanal -					
S	20	20	30	15	32	100
S	20	20	30	14	36	100
	2	5	30	14	30	81
	3	5	30	13	33	87
	3	5	30	13	33	85
	6	5	30	13	34	84
	10	5	30	14	33	81
	15	5	30	12	37	86
	20	5	30	14	34	77
	30	5	30	14	33	100
S	20	20	30	12	47	100
	- Trapanal -					
S	20	20	30	11	40	100
	2	10	30	10	31	78
	3	10	30	9	31	78
	6	10	30	11	34	85
	10	10	30	12	37	92
	15	10	30	11	34	85
	20	10	30	12	33	82
	30	10	30	11	30	75
	50	10	30	10	26	65
	100	10	30	10	11	28
S	20	20	30	8	40	100

T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck	Nach der Ermüdungskurve korrigierte Werte (%)
2	20	30	11	34	85
3	20	30	11	37	90
6	20	30	11	41	102
10	20	30	11	40	101
15	20	30	10	40	101
S 20	20	30	12	39	100
- Trapanal -					
S 20	20	30	12	36	100
30	20	30	11	33	89
50	20	30	12	30	77
100	20	30	15	24	60
S 20	20	30	12	42	100
- Trapanal -					
S 20	20	30	11	40	100
2	50	30	11	26	63
3	50	30	11	28	67
6	50	30	11	30	70
10	50	30	12	30	69
15	50	30	5	30	67
20	50	30	10	30	67
30	50	30	10	26	57
50	50	30	11	28	59
100	50	30	7	25	52
- 6 Minuten Pause -					
S 20	20	30	14	52	100
10	20	10	14	14	
20	20	10	15	15	
10	20	20	14	37	
10	20	30	13	56	
10	20	40	14	66	
10	20	50	14	64	
10	20	60	15	70	
10	20	70	14	71	
10	20	80	14	74	

H U N D G:

Elektroden: Fagersta Draht 19 X 0,05
bilateral u-förmig von der Blasen hinterwand übers
Blasendach zur Blasen vorderwand implantiert.

T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck	Nach der Ermüdungskurve korrigierte Werte (%)
- 20	20	20	24	64	
- 20	20	5	20	20	
- 20	20	10	20	30	
^ 20	20	15	23	41	
- 20	20	15	24	50	
^ 20	20	20	28	58	

T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck	Nach der Ermüdungskurve korrigierte Werte (%)
^	20	20	30	74	
- Trapanal -					
-	20	20	20	26	62
^	20	20	20	26	53
-	20	20	20	26	63
-	20	20	30	26	64
-	20	20	10	26	39
-	20	20	40	26	94
- Trapanal -					
-	20	20	20	25	50
S	20	20	30	25	66
S	20	20	30	26	67
S	20	20	30	26	66
	1	5	30	26	54
	2	10	30	26	56
	2	20	30	26	59
	2	50	30	26	51
	2	100	30	27	42
	3	5	30	27	70
	3	10	30	27	74
	3	20	30	26	76
	3	50	30	28	68
	3	100	30	27	50
	2	20	30	27	71
	2	20	30	28	62
- Trapanal -					
	2	20	30	27	61
S	20	20	30	27	72
S	20	20	30	27	72
	2	20	30	26	63
	2	5	30	27	63
	3	10	30	27	74
	6	20	30	27	75
	6	50	30	27	66
	6	100	30	28	44
S	20	20	30	27	77
S	20	20	30	27	77
S	20	20	30	27	64
- Trapanal -					
S	20	20	30	20	54
S	20	20	30	21	54
	10	5	30	22	48
	10	10	30	22	58
	10	20	30	22	60
	10	50	30	22	50
	10	100	30	22	38
S	20	20	30	22	61
S	20	20	30	22	63
- Trapanal -					

T	R	I	Ruهدruck	Maximaler Blasendruck	Nach der Ermüdungskurve korrigiert, werte (%)
S 20	20	30	20	60	100
20	5	30	20	50	83
20	10	30	21	59	98
S 20	20	30	20	60	100
20	50	30	20	50	82
20	100	30	20	37	50
20	100	30	20	38	60
S 20	20	30	20	64	100
6	5	30	20	50	78
50	10	30	21	49	75
50	20	30	20	57	86
50	50	30	21	50	75
50	100	30	20	37	54
S 20	20	30	20	59	100
100	10	30	21	26	37
100	20	30	20	47	66
100	50	30	21	48	66
S 20	20	30	20	76	100
S 20	20	30	20	72	100
- Trapanal -					
S 20	20	30	20	60	100
S 20	20	30	20	62	100
2	5	30	20	41	66
3	5	30	19	44	71
6	5	30	20	49	78
10	5	30	20	50	79
15	5	30	20	52	82
20	5	30	20	55	87
30	5	30	20	54	84
S 20	20	30	20	64	100
S 20	20	30	21	64	100
- Trapanal -					
S 20	20	30	19	53	100
S 20	20	30	20	52	100
S 20	20	30	20	55	100
2	10	30	21	41	76
3	10	30	20	43	8
6	10	30	19	49	90
10	10	30	21	52	96
15	10	30	20	54	99
S 20	20	30	20	55	100
20	10	30	21	55	95
30	10	30	22	54	89
50	10	30	23	46	71
100	10	30	26	32	47
S 20	20	30	27	76	100
S 20	20	30	26	72	100
2	20	30	28	51	72
3	20	30	26	55	79
S 20	20	30	20	68	100
S 20	20	30	20	60	100
10	20	30	21	56	86

T	R	I	Ruhedruck	Maximaler Blasendruck	Nach der Ermüdungskurve korrigierte Werte (%)
6	20	30	20	60	86
20	20	30	39	75	100
- fragenal -					
20	20	30	19	40	100
20	20	30	19	42	100
30	20	30	19	40	93
30	20	30	19	38	86
1	20	30	19	32	70
20	20	30	20	47	100
30	20	30	19	33	69
30	20	30	19	36	73
30	20	30	20	40	76
10	20	30	20	41	77
10	20	30	20	42	76
20	20	30	20	43	75
20	20	30	20	59	100
- fragenal -					
20	20	30	20	45	100
20	20	30	20	38	75
30	20	30	20	37	73
30	20	30	20	36	71
20	20	30	20	46	100
- fragenal -					
1	20	30	3	5	
1	20	30	3	12	
1	20	30	1	27	
1	20	3	1	54	
1	20	30	30	92	
1	20	30	30	99	
- fragenal -					
1	20	30	1	13	
1	20	30	1	19	
1	20	30	1	25	
1	20	30	1	32	
1	20	30	1	34	
1	20	30	1	52	
1	20	30	1	64	
1	20	30	1	78	
1	20	30	1	85	
1	20	30	1	85	
1	20	30	1	89	
1	20	30	1	43	
1	20	30	1	20	

LITERATURVERZEICHNIS

Stimulation der Blasenwand:

bei Kaninchen:

1. Schoenberg H.W., Murphy J.J., Young D.,
Elektrical Stimulation of the bladder
(The Journal of Urology, 89:820-821, 1963)

bei Katzen:

2. Hald T., Rossel I., Electrostimulation of the urinary
bladder in normal cats (Acta Chirurgica
Scandinavia 128: 414-420, 1964)
3. Hald T., Rossel I., Electrostimulation of the urinary
bladder in the paraplegic cat (Acta
Chirurgica Scandinavia 130:247-255, 1965)

bei Hunden:

4. Bradley W.E., Wittmers L.E., Chou S.N., French L.A.,
Use of the radio transmitter-receiver unit
for the treatment of neurogenic bladder
(Journal of Neurosurgery 19:728-786, 1962)
5. Bradley W.E., Chou S.N., French L.A.; Further
experience with the radio transmitter-
receiver unit for the neurogenic bladder
(Journal of Neurosurgery 20:953-960, 1963)
6. Bradley W.E., Wittmers L.E., Chou S.N.; An experimental
study of the treatment of the neurogenic
bladder (The Journal of Urology 90:
575-582, 1963)
7. Schamaun M., Kantrowitz A.; Managment of neurogenic
urinary bladder in paraplegic dogs by
direct electric stimulation of the detrusor
(Surgery 54:640-650, 1963)
8. Kantrowitz A., Schamaun M.; Paraplegic dogs: Urinary
bladder evacuation with direct electric
stimulation (Science 139:115-116, 1963)
9. Kantrowitz A., Schamaun M.; Bladder evacuation in
paraplegic dogs by direct electric stimu-
lation (The Journal of the American Medical
Association 187:595-597, 1964)

10. Boyce W.H.; Lathem J.E., Hunt L.D.; Research related to the development of an artificial electric stimulator for the paralyzed human bladder.
A review(The Journal of Urology 91:41-61, 1964)
11. Alexander S., Rowan D.; Experimental evacuation of the bladder by means of implanted electrodes
(British Journal of Surgery 52:808-812, 1965)
12. Ellis F., Parker J., Hills M.; Experimental electrical stimulation of the bladder (British Journal of Surgery, 51:857-863, 1964)
13. Ellis F., Parker J., Lale P.G.; The treatment of experimental cord bladder by electrical stimulation
(British Journal of Urology 37:129-138, 1965)
14. Graber P., Rutishauser G.; Vorversuche im Hinblick auf eine klinisch anwendbare elektrische Blasenentleerung (Urologica internationalis 19:410-418, 1965)
15. Scott F.B., Quesada E.M., Cardus D., Laskowski T.; Electronic bladder stimulation: dog and human experiments (Investigative Urology 3:231-243, 1965)
16. Jonge M.C., Kornelis J.A., Berg J.; Electrically induced evacuation of the neurogenic bladder (Acta neurologica Scandinavia, Suppl. 20, 42: 155-173, 1966)
17. Schamaun M., Elektrische Stimulation der gelähmten Harnblase (Praxis 55:729-730, 1966)
18. Kantrowitz A., Hald T.; Electrical stimulation of the paraplegic bladder (Journal of Rehabilitation 32:17-18, 1966)
19. Hald T., Mygind T.; Radiological study of electrically induced micturition (Investigative Urology 4:152-160, 1966)
20. Hald T., Freed P.S., Kantrowitz A.; Urinary bladder: Mode of excitation during stimulation
(Investigative Urology 4:239-246, 1966)
21. Hald T., Freed P.S., Agrawal G., Kantrowitz A.; Urethral resistance during electrical stimulation
(Investigative Urology 4: 247-256, 1966)

22. Wischnewsky A., Liwschitz A.W., Chodrow B.I.;
Radiofrequente Stimulation der Harnblase im
Experiment und in der Klinik
(Zentralblatt für Chirurgie 48:2917-2925, 1967)
23. Magasi, P., Antal, J., Ruzinkó; Über die Wirkungen
der elektrischen Reizung verschiedener Blasen-
abschnitte (Acta Chirurgica Academica
Scientiarum Hungarica 9:77-84, 1968)
24. Rukujo M.; A study of electro stimulation on the
bladder (Japanese Journal of Urology
59:101-116, 1968)
25. Graber P., Störmechanismen am Blasenhalsh bei elek-
trischer Blasenstimulation im Tierversuch
(Vortrag bei der Tagung der Neurologisch
urologischen Arbeitsgemeinschaft in Homburg/Saar
28.-30. April 1968)
26. Potempa J.; Probleme der Blasenauslaßstörung während
Elektrostimulation der Harnblase bei quer-
schnittsgelähmten Patienten (Vortrag bei der
Tagung der Neurologisch-urologischen Arbeits-
gemeinschaft in Homburg/Saar 28.-30.4.1968)

bei Menschen:

- 5.
- 10.
- 17.
- 18.
27. Hald T., Meier W., Khalili A., Agrawal G., Benton J.G.,
Kantrowitz A.; Clinical experience with a
radio-linked bladder stimulator (The Journal
of Urology 97: 73-78, 1967)
28. Susset J.G., Boctor Z.N., Rosario F., Rabinovitch H.,
Nagler B., Mc. Kinnon K.J.; Implantable electri-
cal vesical stimulator: Review of the literature
and report of a successful case (Canadian
Medical Association Journal 95:1128-1131, 1966)
29. Stenberg C.C., Burnette H.W., Bunts R.C.; Electrical
stimulation of human neurogenic bladders:
Experience with 4 patients (The Journal of
Urology 97:79-84, 1967)

Stimulation der Blasenerven:

30. Dees J.E.; Contraction of the urinary bladder produced by electrical stimulation (Versuche aus dem Jahre 1940/41) (Investigative Urology 2:539-547, 1965)
31. Burgehele T., Ichim V., Demetresco M.; L'electro-excitation de la vessie medullaire; 'Etude experimentale (Journal d'Urologie 64: 317-329, 1958)
32. Burgehele T. et al.; Experimental studies on the physiology of micturition and the emptying of the urinary bladder in patients with lesions of the spinal cord (Rumanian Medical Review 3: 48-51, 1959)
33. Habib H.N.; Neural trigger points for evacuation of the neurogenic bladder by electrostimulation (Surgical Forum 14:489-491, 1963)
34. Straubitz W.J., Cheng S.F., Gillen H.W., Holmquist B., Jurlo P., Greetenbach W.; Management of neurogenic bladder by electrical stimulation of pelvic nerves (Investigative Urology 4:20-29, 1966)
35. Hald T., Agrawal G., Kantrowitz A.; Studies in stimulation of the bladder and its motor nerves (Surgery 60:848-856, 1966)

Sonstige:

36. Ardan G.M.; Cope V., Essenhigh D.M., Ducky M.; Observations on the function of the bladder neck and urethra in the dog (British Journal of Urology 39:334-340, 1967)
37. Bleichert A.; Allgemeine Muskelphysiologie in: Landois-Rosemann, Lehrbuch der Physiologie des Menschen S. 473-497, 1962)
38. Bors E.; Effect of electric stimulation of the pudendal nerves on the vesical neck; its significance for the function of cord bladders: A preliminary report

39. Carpenter F.G., Rand S.A.; Retention of acetylcholine release to responses of the urinary bladder (Journal of Physiology 180:371-382, 1965)
40. Comarr A.E.; The problem of cord bladder rehabilitation (The Journal of Urology 77:232-237, 1957)
41. Comarr A.E.; Management of the traumatic cord bladder today (Urologica internationalis 20:1-11, 1965)
42. Comarr A.E.; Traumatic cord bladder: management and complications (Surgical Clinics of North America 45:1509-1522, 1965)
43. Denning H.; Die Innervation der Harnblase, Springer-Verlag, Berlin 1926
44. Emmet J.L., Beare J.B.; Bladder difficulties of tabetic patients (The Journal of the American Medical Association 117:1930-1934, 1941)
45. El-Badawi, A., Schenk E.A.; Dual innervation of the mammalian urinary bladder. A histochemical study of the distribution of cholinergic and adrenergic nerves (American Journal of Anatomy 119:405-427, 1966)
46. Henatsch H.D.; Allgemeine Elektrophysiologie der erregbaren Strukturen in: Landois-Rosemann, Lehrbuch der Physiologie des Menschen S. 547-628, 1962)
47. Henderson V.E., Roepke M.W.; The role of acetylcholine in bladder contractile mechanism (Journal of Pharmacology 51:97-11, 1934) = Zit. nach Carpenter
48. Hryniewiecki J., Sarnowski M.; Rehabilitation der Harnblase nach Wirbelbrüchen mit spinaler Lähmung (Zentralblatt für Chirurgie 31:1789-1792, 1965)
49. Hutch J.A.; A new theory of the anatomy of the internal urinary sphincter and the physiology of micturition (Investigative Urology 3:36-58, 1965)
50. Hutch J.A.; A new theory of the anatomy of the internal urinary sphincter and the physiology of micturition II, The base plate (Journal of Urology 96:182-188, 1966)

51. Katona F.; Elektromos ingerlés a hólyagbénulásol
diagnostikájában és terápiában (Orvosi
Hetilap 99:227-278, 1958)
52. Lapidés J., Hodgson N.B., Boyd R.E.; Effect of adreno-
lytic and antihistaminic drug in micturition
(Surgical Forum 8:650-653, 1957)
53. Lapidés J.; Structure and function of the internal
vesical sphincter (The Journal of Urology
80:341-353, 1958)
54. Lapidés J., Ajemian E.P., Stewart B.H., Lichtwardt J.R.;
Urethrovesical dynamics in the normal
human (Surgical Forum 10:896-899, 1965)
55. Merton P.A.; (British Medical Bulletin 12:215, 1956)
= Zit. nach Bleichert
56. v. Regenmotor G.; La section du sphincter externe dans
les vessies hypertoniques neurogènes
(Acta Urologica Belgica 33:577-589, 1965)
57. Rossier A.B.; Über die Rehabilitation der Paraplegiker
(Documenta Geigy: Acta clinica Nr. 3, 1964)
58. Ruch T.C.; Central control of the bladder (Handbook
of Physiology-Neurophysiology II, S.
1207-1223, 1960)
59. Rutishauser G.; Fortschritte in der Behandlung der
Funktionsstörungen der Harnblase (Übersicht)
(Die Medizinische Welt 50: 2687-2694, 1964)
60. Schaldach M.; Die elektrische Stimulation des Herzens
mit Schrittmachern (Vortrag am 15.7.69
im Hörsaal der Chirurgischen Universitäts-
klinik Erlangen)
61. Sishito S., Saito T., Imagayashi K. et al.; Überblick
über experimentelle Untersuchungen zur
neurogenen Blase. Pathologische Physiologie,
Biochemie und Wirkung therapeutischer Maß-
nahmen. (Tohoku J. exp.Med. 82:327-348, 1964)
62. Schoenberg H.W., Young D.G.; The effect of Urecholine
upon electrical stimulation of the bladder
(Surgery 59: 842-844, 1966)
63. Stewart C.C.; Mammalian smooth muscle - the cats
bladder (American Journal of Physiology
4: 185-208, 1900)
64. Talbot H.S.; Cystometry and the treatment of vesical
dysfunction in paraplegica (The Journal
of Urology 59:1130-1148, 1948)

65. Tanagho E.A., Smith D.R.; The anatomy and function of the bladder neck (British Journal of Urology 38:54-71, 1966)
66. Tanagho E.A., Miller E., Meyers F.H., Corbett R.K.; Observations of the dynamics of the bladder neck (British Journal of Urology 38: 72-84, 1966)
- 67.
68. Wieck H.H.; Funikuläre Spinalerkrankung und B₁₂-avitaminotische Psychose (Medizinische Klinik 62: 767-770, 1967)
69. Medical Tribune-World Wide Report; Elektrische Reizung behebt Blaseninkontinenz (Medical Tribune 28:6, 14.7.1967)

Lebenslauf

- 9.7.44 Geboren in Gleiwitz/OS
Eltern: Cand. med. Emil Arbter und
Erika Arbter, geb. Potstada
- 1945 - 1948 Wohnort: Kochel a. See; dann Ellenberg
- 1950 - 1954 Volksschule in Ellenberg
- 1954 - 1963 Peutinger Gymnasium Ellwangen (mit Abitur)
- 1963 - 1966 Medizinstudium in München (mit Vorphysikum
und Physikum)
- 1966 Medizinstudium in Wien
- 1966 - 1968 Medizinstudium in Erlangen
- IX.68 - II.69 Medizinisches Staatsexamen in Erlangen
- IV.69 - VII.69 Medizinalassistent an der Urologischen
Abteilung der Chirurgischen Universitäts-
klinik Erlangen
- seit VIII.69 Medizinalassistent an der Chirurgischen
Abteilung des Kreiskrankenhauses Ellwangen

Georg Arbter

18. IX. 1969

Georg Arbter

